

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

Parecer

*Este exemplar corresponde a redação final da tese defendida por Miriam Dupas Hubinger e aprovada pela Comissão Julgadora em 18.12.84.
Campinas, 18 de dezembro de 1984.*

Herbert G. Wirth

Presidente da Banca

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM PROCESSO DE
DESIDRATAÇÃO DE CEBOLAS PELA COMBINAÇÃO DE
PRENSAGEM E SECAGEM COM AR AQUECIDO

por

MIRIAM DUPAS HUBINGER
Engenheira de Alimentos

Prof. Dr. HERBERT G. WIRTH
Orientador

21/84

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola da Universidade Estadual de Campinas, para a obtenção do título de "Mestre" em Engenharia de Alimentos

1984

CAMPINAS-S. PAULO

BIBLIOTECA CENTRAL

Aos meus pais.

Ao Luiz.

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Dr. HERBERT G. WIRTH, pela orientação, apoio, dedicação e compreensão com que acompanhou o desenvolvimento deste trabalho.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola (FEAA) da UNICAMP.

Ao CNPq e Banco do Brasil - FIPEC, pelo apoio fiduciário.

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos, na pessoa de seu Diretor e do chefe da seção de Operações Unitárias, pela permissão do uso de suas instalações e equipamentos.

Ao professor Dr. THEO G. KIECKBUSCH, pelo interesse e sugestões durante o desenvolvimento das pesquisas.

À professora Dr.^a MARIA AMÉLIA CHAIB MORAES, pela colaboração no desenvolvimento da análise sensorial.

À professora MARIA REGINA BUENO FRANCO, pelo acompanhamento das análises cromatográficas.

Ao Sr. ANGELO ROMUALDO BIANCHI, pelo auxílio prestado durante os trabalhos experimentais.

À Mecânica Continental S.A., pela cessão de uma prensa contínua para testes e pelo fornecimento de dados para a etapa de desenvolvimento do processo.

À Associação Brasileira de Indústrias de Alimentos (ABIA), pelo fornecimento das cópias.

Aos amigos Wilson, Wilsinho, Raquel, Marisa e Dedê, pelo apoio.

NOMENCLATURA

- a = constante da equação 3.2.
 a_1 = constante da equação 3.3.
 a_2 = constante da equação 3.4.
 a_3 = constante da equação 3.5.
 A = constante da equação 3.7.
 b = constante da equação 3.2.
 b_1 = constante da equação 3.3.
 b_2 = constante da equação 3.4.
 b_3 = constante da equação 3.5.
 B = constante da equação 3.7.
 C = constante da equação 3.1.
C.F.U. = custo fixo unitário (U.M./U.F.)
C.G. = capital de giro (U.M.)
C.T.U. = custo total unitário (U.M./U.F.)
C.V.U. = custo variável unitário (U.M./U.F.)
 E = eficiência da prensagem, em porcentagem de óleo removido pela
operação Eq. 3.3., 3.4. e 3.5.
 G = massa inicial de material a ser prensado (gramas), Eq. 3.6.
I.F.T. = investimento fixo total (U.M.)
 L = espessura inicial da camada submetida à prensagem (cm), Eq. 3.6.
 n = expoente que varia de 1/2 a 1/6, em função da semente, Eq. 3.1.
 P = pressão aplicada (kgf/cm^2)
 P_A = concentração de ácido pirúvico já presente no material em análise ($\mu\text{mol/ml}$)
 pO = potência odorífica
 P_W = concentração de ácido pirúvico produzido enzimaticamente ($\mu\text{mol/ml}$)
 R = taxa de secagem (g/min - 100 grs mat. seca)

S = massa da fase sólida submetida à pressão (kg), Eq. 3.6.

U.F. = unidades físicas (kg)

U. b.s. = umidade base seca, percentual

U.M. = unidades monetárias (cruzeiros de junho 1984)

V = volume do material submetido à prensagem (cm^3), Eq. 3.2.

W = rendimento em óleo, percentual, Eq. 3.1.

W₀ = conteúdo inicial de óleo da semente, percentual, Eq. 3.1.

Y₀ = rendimento em suco, percentual, Eq. 3.7.

η = rendimento em suco, percentual

θ = tempo de prensagem (minutos)

μ = viscosidade dinâmica do óleo (centipoise)

γ = viscosidade cinemática, stokes (cm^2/seg)

ÍNDICE

	Página
AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	ix
SUMMARY.....	xi
ÍNDICE DE TABELAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. ANTECEDENTES.....	01
1.2. PLANTEAMENTO E OBJETIVOS DA PESQUISA.....	03
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
2.1. PRESERVAÇÃO.....	05
2.2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	09
2.3. ESPECIFICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO.....	11
3. PRENSAGEM.....	13
3.1. INTRODUÇÃO.....	13
3.2. DEFINIÇÃO E ANTECEDENTES.....	14
3.3. CORRELAÇÕES PROPOSTAS NA LITERATURA.....	16
3.4. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS DE CEBOLA.....	20
3.5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
3.6. RESULTADOS E SUA ANÁLISE: EFEITO DAS VARIÁVEIS.....	24
3.6.1. Efeito da pressão.....	24
3.6.2. Efeito do tempo.....	26
3.6.3. Efeito da carga de material.....	28
3.6.4. Efeito da umidade.....	28
3.7. RELAÇÕES EMPÍRICAS SIMPLES: SUA APLICABILIDADE AO PROBLEMA EM ESTUDO E CORRELAÇÃO AJUSTADA.....	31
3.8. ASPECTOS ENERGÉTICOS.....	37

3.9. PRENSAGEM EM OPERAÇÃO CONTÍNUA. TRANSPOSIÇÃO PARA A ESCALA INDUSTRIAL.....	38
3.10. CONCLUSÕES.....	42
4. CONCENTRAÇÃO.....	44
4.1. INTRODUÇÃO.....	44
4.2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	45
4.3. RESULTADOS.....	47
4.4. ASPECTOS ENERGÉTICOS.....	55
4.5. CONCLUSÕES.....	57
5. SECAGEM.....	59
5.1. GENERALIDADES.....	59
5.2. ASPECTOS FUNDAMENTAIS.....	61
5.3. TIPOS CONVENCIONAIS DE SECADORES DE CEBOLA.....	63
5.4. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS.....	64
5.5. EFEITO DAS DIFERENTES VARIÁVEIS NA SECAGEM DO BAGAÇO OU POLPA DE CEBOLA.....	68
5.5.1. Experiências exploratórias.....	68
5.5.2. Efeito da variação de temperatura na velocidade de secagem do bagaço ou polpa de cebola...	69
5.5.3. Efeito da variação da velocidade do ar na velocidade de secagem do bagaço ou polpa de cebola.....	74
5.5.4. Efeito da variação de carga na velocidade de secagem do bagaço ou polpa de cebola.....	81
5.5.5. Encolhimento.....	98
5.6. CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DA QUALIDADE DO PRODUTO..	98
5.6.1. Introdução.....	98

	Página
5.6.2. Análise sensorial.....	101
5.6.3. Determinação de ácido pirúvico.....	104
5.7. CONCLUSÕES.....	106
6. DIMENSIONAMENTO DO PROCESSO.....	109
6.1. INTRODUÇÃO.....	109
6.2. FLUXOGRAMA QUALITATIVO.....	110
6.3. FLUXOGRAMA QUANTITATIVO.....	114
6.4. EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS.....	116
6.4.1. Prensa contínua tipo "Expeller".....	116
6.4.2. Evaporador com recuperador de aroma.....	117
6.4.3. Secador estacionário intermitente com bande- jas para produtos vegetais.....	117
6.5. INVESTIMENTOS.....	118
6.5.1. Principais equipamentos de processo-valores de compra.....	119
6.5.2. Principais itens que compõem o investimento..	119
6.5.3. Cálculo do investimento fixo.....	120
6.5.4. Cálculo do capital de giro.....	122
6.6. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO.....	123
6.6.1. Gastos com pessoal.....	123
6.6.1.1. Mão de obra direta.....	124
6.6.1.2. Mão de obra indireta produtiva.....	124
6.6.1.3. Pessoal administrativo.....	125
6.6.2. Necessidade de serviços: água, vapor, energia elétrica e outros.....	125
6.6.2.1. Água.....	125
6.6.2.2. Energia elétrica.....	126
6.6.2.3. Vapor.....	127

	Página
6.6.3. Matéria prima.....	128
6.6.4. Depreciação.....	129
6.6.5. Manutenção.....	129
6.6.6. Seguros.....	129
6.6.7. Impostos ao capital.....	129
6.7. DIVISÃO DE CUSTOS ENTRE OS DOIS PRODUTOS E CUSTO DOS PRODUTOS.....	130
6.7.1. Determinação do custo fixo unitário.....	130
6.7.1.1. Custo fixo unitário comum aos dois produtos.....	130
6.7.1.2. Custo fixo unitário ponderado para cada um dos produtos.....	131
6.7.2. Determinação do custo variável unitário.....	132
6.7.2.1. Custo variável unitário comum aos dois produtos.....	132
6.7.2.2. Custo variável unitário ponderado pa ra cada um dos produtos.....	133
6.7.3. Determinação dos custos totais unitários.....	136
6.7.3.1. Suco concentrado.....	136
6.7.3.2. Bagaço ou polpa seca.....	137
6.8. ANÁLISE DE PONDERAÇÃO.....	137
6.8.1. Avaliação da influência do custo da matéria prima.....	137
6.8.2. Avaliação da influência do custo da energia elétrica.....	138
6.8.3. Influência do custo da mão de obra.....	138
6.9. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	139
6.9.1. Influência da matéria prima.....	139

	Página
6.9.2. Influência do custo dos secadores.....	140
6.9.3. Influência da energia elétrica.....	142
6.10. CONCLUSÕES.....	142
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	145
7.1. CONCLUSÕES.....	145
7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	147
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151
APÊNDICES.....	160

RESUMO

Um novo método de desidratação de cebola foi pesquisado, com o intuito de se atingir insumos energéticos menores que os de secagem convencional, mantendo o compromisso de um produto final de qualidade aceitável.

A primeira etapa consistiu em se submeter cebola triturada à prensagem, para retirada mecânica de líquido. Avaliou-se a influência do tempo, pressão e carga de material sob processamento. Verificou-se que um aumento de pressão resultava em aumento do rendimento; o melhor tempo encontrado foi o de 8 min e a carga mais adequada estabelecida foi de 23 kg/m^2 .

Dois produtos foram originados nessa etapa: suco e polpa úmida. O suco foi concentrado em evaporador tipo termo-sifão e o processo ocasionou geração de odor característico, quando se trabalhou a temperaturas não muito próximas das de inativação enzimática. Previu-se, em escala industrial, um evaporador de triplo efeito, com recuperador de aroma.

A polpa ou bagaço úmido foi seca em secador de bandejas com movimentação das mesmas em contra-corrente ao ar de secagem, levando a um processo semi-contínuo de operação. A melhor condição de secagem aqui estabelecida foi a de velocidade do ar de $1,0 \text{ m/s}$, temperatura de 55°C e carga de bandejas de $11,2 \text{ kg/m}^2$.

O tempo requerido para se atingir um teor final de umidade de cerca de 6%, ao se trabalhar nessas condições, foi algo menor que 3 horas.

O dimensionamento do processo previu a instalação de uma unidade de produção de 4.000 kh/h , com equipamentos nacionais, que processaria o bulbo durante todo o período de safra, ou seja, 180 dias

em 3 turnos/dia. Os custos fixos e variáveis decorrentes podem ser considerados aceitáveis e através da análise de ponderação, constatou-se que o custo de matéria-prima é o de maior influência. O custo da energia elétrica também é alto e sugerem-se modificações no processo, que podem minorá-lo.

A implantação de uma indústria do tipo permite a utilização de 14.500 ton/ano de uma matéria-prima que sempre apresenta excedentes de produção, com a geração de 270 empregos.

SUMMARY

An onion dehydration process was sought, with the purpose of decreasing energy consumption as compared with current drying methods and resulting in products of good quality.

The first major step consisted in pressing crushed onion, to remove liquid mechanically. The influence of time, pressure and material load was evaluated. An increase in pressure resulted in higher yields; the best time was 8 min and the most appropriate load was 23 kg/m^2 .

The expression produced two fractions: juice and wet pulp. The juice at 10°Bx was concentrated in a natural circulation evaporator and its distinctive odor was generated, during the processing, when working at temperatures not too close to those of enzymatic inactivation. The commercial unit was designed with a three effect evaporator with aroma recovery.

The pulp with 17% solids was dried in a tray dryer; the trays being moved at intervals counter-currently to the hot air in a semi-continuous operation.

The best drying conditions obtained were as follows: air velocity 1 m/s , temperature 55°C and tray load $11,2 \text{ kg/m}^2$.

Under these working conditions, a final humidity of 6% was attained in about three hours of operation.

The process design was based on a plant capacity of 4.000 kg/h , using only equipment fabricated in Brazil. The operating schedule covers 180 days a year, and three shifts a day during the production season. The fixed and variable costs worked out can be considered acceptable. It was observed that raw material cost is the one of

largest influence. The electric energy charges are also high and processes modifications should be evaluated so as to decrease them.

This plant would process 14,500 ton/year of a raw material that shows seasonal overproduction, generating 270 jobs.

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
3.1. Efeito da pressão no rendimento da operação.....	25
3.2. Efeito do tempo no rendimento da operação.....	27
3.3. Efeito da variação de carga no rendimento da operação..	29
3.4. Efeito da variação de umidade no rendimento da prensagem	30
3.5. Rendimentos obtidos experimentalmente e através da equa ção de Worthington et alii para avaliação do efeito do tempo.....	33
3.6. Rendimentos experimentais e obtidos através da equação de Worthington et alii para avaliação do efeito da pres são.....	33
3.7. Rendimentos obtidos experimentalmente e através da equa ção de Kõrmendy.....	35
3.8. Rendimentos experimentais e rendimentos obtidos através da equação de Kõrmendy e de ajustes das mesmas.....	36
3.9. Consumo aproximado de energia nos processos de prensa- gem e secagem.....	40
3.10. Resultados obtidos em prensa contínua.....	41
4.1. Medidas de potência odorífica (p.O.) e concentração de odor para suco concentrado a 69,5ºBrix.....	48
4.2. Medidas de potência odorífica (p.O.) e concentração de odor para suco concentrado a 53,5ºBrix.....	49

	Página
4.3. Medidas de potência odorífica (p.O.) e concentração de valor para suco concentrado a 43°Brix.....	50
4.4. Consumo de energia no processo de concentração.....	55
4.5. Consumos do processo de concentração e de prensagem....	57
5.1. Valores da taxa de secagem ($R = \text{g/min } 100 \text{ gr mat. seca}$) em função da velocidade do ar.....	89
5.2. Valores da taxa de secagem (R) em função da variação da temperatura.....	91
5.3. Variação da taxa de secagem (R) em função da variação da carga (espessura de camada).....	94
5.4. Valores de $M/A\theta$ (taxa de secagem global) para as diferentes condições de secagem.....	96
5.5. Características das amostras submetidas à análise sensorial.....	102
5.6. Resultados da análise sensorial.....	103
5.7. Resultados dos testes de piruvato.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
3.1. Desenho esquemático da prensa hidráulica.....	22
4.1. Esquema do evaporador "Precision Scientific".....	46
5.1. Efeito da variação de temperatura e variação de carga na secagem do bagaço de cebola.....	71
5.2. Efeito da variação de temperatura na secagem do bagaço.	73
5.3. Efeito da variação da umidade inicial do bagaço na secagem.....	75
5.4. Efeito da variação da velocidade do ar na secagem do bagaço de cebola.....	78
5.4.A. Efeito da variação da velocidade do ar na secagem do bagaço de cebola.....	79
5.5. Efeito da variação da velocidade do ar na secagem do bagaço.....	80
5.6. Efeito da variação de carga na secagem.....	84
5.7. Efeito da variação de carga na secagem do bagaço de cebola.....	85
5.8. Efeito da variação de carga na secagem do bagaço de cebola.....	87
5.9. Taxa de secagem (R) vs umidade média. Parâmetro em avaliação: velocidade do ar.....	89
5.10. Taxa de secagem (R) vs umidade média. Parâmetro em avaliação: temperatura do ar.....	92

5.11. Taxa de secagem (R) vs umidade média. Parâmetro em avaliação: carga da bandeja.....	95
---	----

1. INTRODUÇÃO

1.1. ANTECEDENTES

A cebola, *Allium cepa* L, vem sendo cultivada desde as mais remotas eras.

Supõe-se que tenha ocupado uma vasta área na Ásia Mediterânea, estendendo-se, provavelmente, para o Egito e Índia. Depois se expandiu para a África e atingiu todo o Continente europeu.

Todos os povos antigos, Caldeus, Gregos e Romanos, a consumiam em larga escala. No Egito há muitos documentos antigos (desde aproximadamente 3000 A.C.), que reportam o seu uso (MASCARENHAS, 1980).

Foi trazida para as Américas pelos primeiros colonizadores. No Brasil, era cultivada inicialmente nos estados sulinos, principalmente no Rio Grande do Sul. Aos poucos foi atingindo outras regiões, sendo hoje cultivada em maior ou menor escala, desde Pernambuco até o extremo sul do país (MURAYAMA, 1971).

A produção brasileira de cebola em 1981 foi de 800 mil toneladas, sendo que desse total 37% foi produzido em São Paulo. O desenvolvimento da cultura de cebola tem sido bastante expressivo nos últimos anos, visto que a produção que era de 300 mil toneladas em 1972, passou a 500 mil em 1978, atingindo o valor supra citado em 1981.

A principal característica da produção dessa olerícola no país é a grande defasagem que há entre oferta e procura do bulbo, nas diferentes épocas do ano. A cebola apresenta perecibilidade considerável e as oscilações de preço e perdas decorrentes da falta de condições de armazenamento, distribuição e mercado nos picos de safra, tem-se repetido periodicamente, afetando diretamente os agricultores,

que vem se sentindo cada vez mais desestimulados para a continuidade da produção. Uma comprovação é que a quantidade colhida no Rio Grande do Sul baixou de 200.000 ton (1981) para 168.000 ton em 1982 e a área cultivada de Piedade, região de maior concentração da produção no Estado de São Paulo, foi reduzida a 50% do total plantado no ano de 1981 (NOTICIÁRIO TV BANDEIRANTES, 1982).

Para o ano de 1984 não se conhecem previsões sobre a produção global, porém noticiou-se que na região do médio São Francisco é esperada uma safra de 120 mil toneladas.

Os produtores dessa região foram muito sacrificados, principalmente nos anos de 1979, 1980 e 1981 com a coincidência de safras do Sul e do Nordeste (CORREIO POPULAR, 27/05/1984).

Com o intuito de estimular os agricultores e regularizar o abastecimento, o governo federal colocou em prática o Plano Nacional de Produção e Abastecimento de Cebola, para o período 1980-1984, cujo objetivo principal foi a sucessão solidária de safras, ou seja, tentou-se disciplinar os produtores quanto aos cultivares que podiam ser plantados em cada região. Somente o plantio das variedades indicadas era contemplado com crédito rural, seguro agrícola, compras antecipadas por agentes do Governo e industrialização do excedente (INFORME AGROPECUÁRIO, 1980).

Em consequência do desequilíbrio que caracteriza a produção de cebola, nota-se uma preocupação crescente em se melhorar as condições de armazenamento e aplicar processamentos que prolonguem a vida útil do bulbo. A armazenagem frigorificada é mais eficiente, porém exige maior investimento inicial, implica em maiores custos operacionais e apenas retarda o brotamento e a deterioração por cerca de seis meses. A irradiação é um método bastante efetivo, previne de deterioração de cor, perda de água e crescimento bacteriano, porém é

proibido pela legislação brasileira.

Há ainda a conservação envolvendo um processamento industrial do bulbo, passando a cebola a ser usada como matéria prima. A secagem de cebolas em fatias até um conteúdo final de umidade variando de 6 a 8% (ISO, 1981) deve ser destacada, pois além da preservação em si, cria novas perspectivas de mercado e tem sido bastante difundida nos últimos anos.

Outros métodos, considerados pouco convencionais, vem sendo pesquisados e poderão se tornar opção viável na conservação de cebola.

1.2. PLANTEAMENTO E OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho consiste na utilização de um método, não totalmente descrito na bibliografia, para conservação de cebola.

A idéia principal reside em se obter cebola desidratada, produzida por um método energeticamente mais viável que os usualmente empregados.

A sequência operacional define o estabelecimento dos capítulos aqui apresentados que são Prensagem, Concentração, Secagem, Dimensionamento do Processo, Conclusões e Sugestões, que se encontram interrelacionados, pois no trabalho prático foram tratados em conjunto.

Pode-se definir como objetivos desta pesquisa os seguintes:

(1) procurar um novo processo de conservação de cebola por desidratação.

(2) procurar que esse processo seja energeticamente menos intensivo que o convencional de secagem.

(3) procurar que nesse processo se minimizem as perdas de

aroma.

(4) procurar obter dados experimentais que possam ser transpostos para escala industrial.

(5) caso o processo resulte tecnologicamente viável, proceder a uma análise econômica preliminar do mesmo, através de uma estimativa de investimentos, custos fixos e variáveis e análise de sensibilidade dos custos mais importantes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRESERVAÇÃO

As condições climáticas brasileiras favorecem a deterioração dos produtos agrícolas, entre eles, a cebola. As maiores perdas são causadas por brotação e podridão fúngica, mas também acontecem perdas por enraizamento, enrugamento e perda de água (INFORME AGROPECUÁRIO, 1980).

O armazenamento do bulbo normalmente é feito em galpões ou armazéns cobertos, com boa ventilação. É uma maneira muito simples e também pouco eficiente de estocagem (INFORME AGROPECUÁRIO, 1980).

É prática comum para aumentar a vida útil durante a estocagem em galpões, realizar logo após a colheita a cura ao sol do bulbo, diminuindo assim o seu teor de umidade. Algumas modificações no processo de cura foram estudadas e analisadas por BUFFINGTON e GUSTASHAW (1975), que submeteram cebolas à cura a vácuo e depois as armazenaram em três condições ambientais diferentes: estocagem ambiente a 30°C, estocagem em ambiente de ar controlado a 24°C e armazenamento a frio a 1,5°C. Foi feita uma avaliação semanal, por um período de 10 semanas e ao fim desse tempo apenas as cebolas armazenadas a 1,5°C apresentavam boas condições gerais.

Normalmente, durante o armazenamento, a umidade favorece o brotamento. Com o objetivo de se evitar esse acontecimento, desenvolveram-se pesquisas de aplicação de "hidrazida maleica" no campo, antes da colheita. Os bulbos submetidos a esse tratamento chegaram a se conservar por 4 ou 5 meses, no período de estocagem (AGRICULTURA DE LAS AMÉRICAS, 1974).

Tem-se ainda desenvolvido alguns estudos de conservação de cebola por irradiação. Trata-se de um método atualmente não autori-

zado pela legislação brasileira, mas bem desenvolvido em outros países. LANGERAK (1975) reportou o efeito da irradiação na qualidade da chicória e cebolas cortadas, embaladas em sacos perfurados e constatou que esse tratamento prevenia a deterioração de cor, perda de água e crescimento bacteriano. O mesmo método foi também usado para inibir o desenvolvimento microbiano em cebolas em pó (DELNIKOVA e DUPUY, 1973).

Porém não são esses estudos os de maior relevância para o assunto do qual trata esse trabalho. A eliminação forçada de água, que previne a deterioração e permite que o produto se conserve por muito tempo, constitui o tema central de discussão aqui. Dentre os vários processos de eliminação forçada de água foram pesquisados: prensagem, concentração e secagem. Estas operações estavam interrelacionadas, pois dos dois produtos obtidos por prensagem, um era submetido à concentração e o outro à secagem.

A idéia do uso de prensagem em um material como a cebola foi proveniente do fato de se ter encontrado, nas bibliografias, alusão em trabalhos de SCHALLER (1979) e HUTH (1972), ao emprego dessa operação para obtenção de suco de cebola e seu processamento posterior.

Segundo SCHWARTZBERG et alii (1977), o uso direto ou indireto da prensagem, para remoção de água, pode em alguns aspectos ser considerado um método alternativo de desidratação e a quantidade de energia para desidratação induzida por prensagem é muito menor que a necessária para remoção de água pelo calor. Assim, revela-se um método bastante econômico de desidratação, porém lamentavelmente sua faixa de utilização é limitada, pois é possível remover apenas parte da água por prensagem, com as técnicas atualmente disponíveis. Há uma quantidade residual de água, variável de acordo com o material trata

do, que nunca se conseguirá eliminar, por maior que seja a pressão em pregada.

O método mais difundido e amplamente usado de conservação é ainda a desidratação. MAZZA e LEMAGUER (1980) estudaram a secagem de cebolas em fatias, com ar a diferentes condições de temperatura e fluxo. Curvas de velocidade de secagem foram construídas e usadas para cálculo de umidade crítica, constante de secagem, difusividade efetiva de umidade através das fatias e energia de ativação para difusão. Os autores determinaram ainda taxas de reidratação a 25 e 40°C e verificaram que estas eram independentes das condições de secagem. As cebolas eram fatiadas (1,5 mm de espessura) e secas em secador vibro fluidizado em escala piloto.

O processo comercial convencional consiste na secagem de fatias de cebola em secadores de túnel ou de bandejas. Nesse último tipo de secador, as fatias são espalhadas nas bandejas, que a seguir são encaixadas no secador, onde recebem ar aquecido insuflado. A temperatura máxima de secagem é de 60°C (CRUESS, 1973) e o tempo varia de 10 a 15 h (VAN ARSDEL et alii, 1964), sendo que as fatias deixam o secador com um conteúdo de umidade variando de 5 a 7%.

O desenvolvimento dessa tecnologia convencional advém da larga escala de produção de alimentos desidratados, que houve em consequência da Segunda Guerra Mundial. Desde então, diferentes aprimoramentos vem sendo propostos, porém nenhum deles muda substancialmente o processo. É o caso do processamento empregado por LEITE et alii (1982), em que as cebolas a serem desidratadas são estocadas em armazém com ar aquecido a 35°C, para execução de uma pré-secagem do bulbo.

CANNON (1978) reportou a secagem de fatias de cebola com 3mm de espessura em um secador do tipo leito fluidizado centrífugo,

constatando que apesar da natureza frágil desse vegetal em particular, o produto saía ao final do processo sem danos físicos, apesar de ter perdido 35% do seu conteúdo total de água.

No livro "Dehydration processes for Convenience Foods", NOYES (1969) enfatiza o uso de um processo de leite fluidizado para secagem de cebola, alho, etc. O autor afirma que o processo convencional de secagem em túnel é dispendioso não só com relação a espaço, tempo e mão de obra, mas também com relação ao material tratado.

Através dos vários métodos de conservação de cebola obtêm-se um grande número de produtos. KENNY (1974), ao fazer um levantamento sobre os produtos derivados de cebola, verificou que da desidratação resultam três tipos: a cebola seca em fatias, o pó e o pó grosso (seria a cebola em fatias com moagem grosseira). Constatou também a existência de fatias de cebola congeladas, cebola sob a forma de pickles, cebola enlatada ou em vidros e anéis de cebolas fritas.

Mais recentemente houve o aparecimento de pastas de cebolas.

FREEMAN e WHENHAM (1974) estudaram a conservação da cebola através de enlatamento, seguido de tratamento térmico. Retirava-se a pele dos bulbos; estes eram então colocados em latas com capacidade para 0,5 kg, cheias com salmoura, fechadas e submetidas a aquecimento.

Outro modo de se aumentar o tempo de vida útil da cebola é através da modificação da atividade de água (a_w). Segundo CHIRIFE et alii (1972), a cebola fresca tem um valor de a_w entre 0,986-0,974, que pode ser reduzido a até 0,65, com o uso de um método de produção de alimentos de umidade intermediária, desenvolvido por GEE

et alii (1977). A metodologia empregada consistiu em se tratar a cebola com uma solução fervente de água, sal, sacarose e ácido acético em proporções adequadas, mantê-la a 21°C por 4 dias, drenar o material e então secá-lo em estufa com ventilação forçada, até que atingisse $a_w = 0,65$.

2.2. PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Em qualquer estudo de armazenamento e processamento de bulbo, há que se considerar, além da capacidade germinativa, as propriedades físico-químicas.

Na bibliografia encontra-se referência a várias, mas a mais amplamente estudada até hoje foi a composição. Um dos estudos mais completos foi o realizado pela Facultad de Ciencias Químicas, UNIVERSIDAD DE CHILE (1974), onde estão tabelados a umidade (base úmida), teor calórico, teor protéico, nutrientes, vitaminas e açúcares totais. Ocorre uma variação muito grande no que diz respeito à composição. A característica mais importante da cebola brasileira é apresentar um teor de umidade maior que o dos bulbos cultivados na Europa e Estados Unidos, o que torna a nossa matéria prima inferior às demais, tanto para ser comercializada "in natura", quanto para o processamento.

Valores de condutividade térmica de frutas e vegetais, entre eles de cebola, necessários para cálculos de taxas e tempos de resfriamento e aquecimento, foram determinados experimentalmente por SWEAT (1974).

Correlações para obtenção de entalpias numa faixa de -45 a 35°C, para o mesmo material, foram apresentadas por TAO e CHANG (1981).

Em trabalho já citado, MAZZA e LEMAGUER (1980), secando fatias de cebola, através de curvas de secagem calcularam valores de umidade crítica e difusividade efetiva da água através das fatias. Os mesmos autores (1978) apresentaram isotermas de sorção para cebola, visando à definição de limites para experimentos posteriores de secagem e obtenção dos conteúdos de umidade de equilíbrio, sob determinadas condições de temperatura e umidade.

Outra importante característica estudada foi a cor. Durante o processamento comercial de pastas e de cebola desidratada, ocorre o desenvolvimento de um pigmento rosa, que segundo LUKES (1959), era devido a uma reação em duas fases, a primeira essencialmente enzimática, seguida de uma etapa não enzimática.

Em virtude dessa coloração, indesejável comercialmente, FARRAG et alii (1981) propuseram alguns tratamentos da matéria prima, pré-processamento, visando a diminuir ou evitar a mesma, através do uso de preservantes químicos.

No entanto, isso não é o que de mais importante acontece com a cebola, no aspecto enzimático. Em uma abrangente revisão sobre o desenvolvimento de odor, pungência e "flavor" de cebola e alho, WHITTAKER (1976) concluiu que tudo isso se viabiliza após o corte ou esmagamento da amostra. A origem desse fenômeno é resultado da conversão de sulfóxidos de cisteína, S - substituídos a ácidos alquil sulfônicos instáveis, por uma enzima característica, denominada alliinase.

Com o advento da descoberta de geração enzimática do odor de cebola, foram feitas muitas pesquisas de caracterização aromática por métodos, em sua maioria, cromatográficos.

CARSON e WONG (1961) foram os primeiros a isolar importantes componentes do aroma de cebola por cromatografia gasosa. A extra

ção dos voláteis foi feita por adsorção em carvão ativo e com isopentano. A seguir as amostras foram analisadas em colunas empacotadas com Carbowax 1540 de 1/2 e 1/4 de polegada.

BRODNITZ et alii (1969) conseguiram isolar e identificar a maioria dos compostos sulfurados, constituintes do óleo essencial de cebola; isto graças ao uso de colunas capilares para separação mais efetiva dos componentes e espectrometria de massa, visando a identificação dos mesmos.

Com o desenvolvimento obtido na caracterização química e física, outras pesquisas mais sofisticadas, mas igualmente importantes, puderam ser efetuadas. MAZZA (1980) determinou, usando cromatografia gasosa, a volatilidade relativa de alguns dos principais componentes sulfurados dos voláteis de cebola.

Para o fator lacrimatório, também resultante da atividade enzimática que ocorre por ocasião do corte, foram procuradas explicações. SCHWIMMER (1968, 1969) concluiu que o trans (+) - S - (1 - propenil) - L - cisteína sulfóxido é o precursor do fator, que é o ácido 1 - propenilsulfênico, estando ainda envolvido no desenvolvimento de odor, sabor amargo da cebola fresca e odor da cebola cozida.

Há ainda evidências de que estes mesmos compostos sejam os responsáveis pelo grande efeito antimicrobiano de cebolas frescas (VIRTANEN e MATTIKALA, 1959), de acordo com citação de CARSON e WONG, (1961).

2.3. ESPECIFICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO

A necessidade de que a qualidade de matérias primas e produtos alimentícios seja regulada por legislações pertinentes é observada também no caso da cebola.

SATURNINO e TAVARES (1980) apresentam a legislação perti-

nente à padronização desse bulbo, visando à classificação e fiscalização da exportação. Trata-se de um anexo a uma resolução já existente, em que se divide a classificação em grupos, classes, subclasses, e tipos segundo o seu formato, tamanho, cor da casca e qualidade. São ainda legisladas cebolas consideradas abaixo do padrão.

Quanto ao produto acabado, existe uma pequena legislação sobre cebola desidratada. A mais recente e completa a respeito é a desenvolvida pela International Standard Organization - ISO (1981), da qual o Brasil é membro e espera-se que seja observada no desenvolvimento dos trabalhos. Segundo os padrões dessa organização é considerado desidratado um produto que tenha teor de umidade menor que 8% para fatias, flocos, pedaços e moído grosso e menor que 6% para o pó e "grits". A industrialização visando a exportação terá que adotar essas normas.

3. PRENSAGEM

3.1. INTRODUÇÃO

A prensagem, do ponto de vista de conhecimentos fundamentais, é um dos processos tecnológicos que recebeu muito pouca atenção de pesquisadores e estudiosos.

Não se dispõe de equações de correlação e dimensionamento generalizadas e pouco se conhece dos mecanismos que provocam a expressão dos líquidos, embora tenha quase três milênios de aplicação, com equipamentos similares aos de uso corrente atualmente.

Inventada e utilizada anteriormente, a prensa mecânica descontínua foi aperfeiçoada a partir do século 6 A.C. na Grécia. Os dois produtos principais de comércio exterior grego eram o azeite de oliva e o vinho. Na sua produção, as azeitonas descaroadas e as uvas eram processadas em prensas, em que a regulagem da expressão era feita mediante um parafuso.

A prensa contínua está implícita no bem conhecido parafuso de Arquimedes, tendo sido criada a partir dele (Século 3 A. C.), originalmente inventado para a elevação da água de irrigação.

É interessante comparar a falta de desenvolvimento das prensas com equipamentos criados em datas muito posteriores. Por exemplo, a primeira (e muito imperfeita) máquina a vapor, a de Newcomen, data de 1712. Logo, um elevado índice de aperfeiçoamento é atingido já na máquina de Watt, 1765. E hoje todos os princípios mecânicos, físicos e termodinâmicos que estabelecem seu projeto, operação e eficiência são conhecidos. Em menos de três séculos as máquinas a vapor avançaram mais do que as prensas em três milênios.

3.2. DEFINIÇÃO E ANTECEDENTES

Prensagem é a separação de líquidos em um sistema de duas fases, sólida e líquida, homogêneo ou não, pela aplicação de pressão, de maneira tal que se permita a saída do líquido, enquanto o sólido fica retido entre as superfícies de compressão.

Como operação unitária trata-se de um caso análogo à filtração, sendo porém usada para misturas que são espessas para fluírem facilmente e serem bombeadas. Pode ser o caso de líquidos de alta viscosidade, de casos onde a relação líquido-sólido é pequena ou ainda da existência de fase líquida não contínua, como é o caso de materiais celulares (maçã, cebola).

Segundo GURNHAM e MASSON (1946), até o ano de publicação do seu trabalho, nenhuma informação global a respeito de prensagem pode ser encontrada, tendo-se apenas trabalhos particulares de indústrias específicas. Muito pouco havia sido desenvolvido com relação a teorias fundamentais sobre a operação. A situação hoje não é muito diferente da de 40 anos atrás.

Assim sendo, dentro das duas fases consideradas num estudo de prensagem, que são:

(a) condição de um sistema que atingiu o equilíbrio, no qual não há fluxo de líquido ou qualquer mudança (por exemplo, volume) com o decorrer do tempo.

(b) condição de um sistema não em equilíbrio, no qual um fluxo de líquido ou diminuição de volume, ou ambos, estão ocorrendo sob influência da pressão aplicada;

os autores optaram pelo estudo apenas da condição de equilíbrio, visto terem considerado essa informação necessária, antes de qualquer outro estudo efetivo ser realizado. Trabalharam com mis

turas sintéticas de sólidos e líquidos ao invés de materiais naturais, visando a assegurar variações maiores nas condições teste, as sím como controle fácil e reproducibilidade.

Antes deles, de acordo com citação dos mesmos autores, DEER (1908) havia feito alguns estudos prévios dentro do assunto, limitando porém, seus testes à cana de açúcar e bagaço. Depois, KOO (1942) realizou experiências com várias sementes oleaginosas e obteve equações empíricas que relacionam o rendimento em óleo à pressão, temperatura, tempo de prensagem e conteúdo de umidade.

Atualmente, apesar de não ser possível afirmar que a teoria e aplicação da prensagem foram satisfatoriamente desenvolvidas, pode-se verificar o registro de avanços na área.

Com isso pode-se encontrar, segundo DEMAUX e TACCARD (1977) o advento da superprensagem de polpas de beterraba açucareira, visando a retirada de parte da água que as acompanha. A causa principal desse advento é a economia de energia na desidratação, preocupação cada vez mais intensa após a crise deflagrada em 1974, com a escalada vertiginosa dos preços de derivados do petróleo e a incerteza de abastecimento.

O fracionamento de forragens, como meio de obtenção de uma fração aquosa rica em proteínas e uma fração rica em fibras, levou PITT et alii (1982) a realizarem avanços na área de projetos de prensas, utilizando a prensa cônica e concluindo ser a mais adequada para retirada de água desse tipo de material.

PIRIE (1976) conduziu uma pesquisa com os mesmos propósitos da anterior, porém a fonte de proteínas consistiu, principalmente, de resíduos de processamento de alimentos, como pontas de beterraba e rama de batata. A prensa contínua do tipo "expel

ler" foi considerada adequada para esse material, mas como partículas finas de fibra (de difícil remoção) fossem arrastadas com o suco, optou-se por conferir uma certa inclinação ao equipamento, facilitando a operação.

Esse mesmo tipo de prensa é empregado para a remoção de água de materiais hidrofóbicos, como é o caso da borracha. Os resultados obtidos são excelentes; por ser hifrófobo, o material expele água praticamente livre de sólidos e segundo os autores, STROP e BRIGGS (1974) consegue-se reduzir o teor de umidade de 60 para 5%.

3.3. CORRELAÇÕES PROPOSTAS NA BIBLIOGRAFIA

Com o estudo mais detalhado das operações de prensagem, algumas correlações empíricas foram sendo desenvolvidas e sua adequação às experiências por nós realizadas foi avaliada.

KOO (1942), em trabalho já citado de estudo sobre prensagem de sementes para extração de óleo vegetal, chegou a uma equação cuja expressão geral é:

$$W = \frac{C W_0 \sqrt{P} \sqrt{\theta}}{\sqrt{\gamma}^n} \quad \text{Eq. (3.1)}$$

onde W é o rendimento em óleo, (% em peso, sobre base seca), C é uma constante que depende da semente e das unidades, W_0 é o conteúdo inicial de óleo da semente, P é a pressão aplicada, θ é o tempo de prensagem, γ é a viscosidade cinemática do material e n é um expoente que varia de 1/2 a 1/6 em função da semente.

No estudo de materiais celulares fibrosos, como é o caso de algodão, polpa de papel, GURNHAM e MASSON (1946), partiram da hipótese de que qualquer aumento na pressão, expresso como um amento fracional sobre a pressão existente, resulta num aumento propor-

cional na densidade da massa e colocaram a equação em função do recíproco do volume, chegando a:

$$\log P = a + b/V \quad (3.2)$$

que, se fosse válida, levaria gráficos de $\log P$ vs $1/V$, para qualquer experimento, a resultarem em retas.

Um outro material estudado com considerável atenção foi o pescado cozido, para obtenção de torta e licor. A torta posteriormente seca é comercializada como farinha e, dependendo da riqueza em óleo, o licor seria separado em óleo e água. WORTHINGTON et alii (1954) ao avaliarem a sua prensagem, desenvolveram equações para análise do efeito do tempo, temperatura e pressão na eficiência da operação e concluíram que nesse caso específico, eram válidas as seguintes correlações:

(1) caracterizando o efeito do tempo

$$E = a_1 \log \theta + b_1 \quad (3.3)$$

onde E é a eficiência em porcentagem de óleo original removido pela prensagem.

θ é o tempo de operação (tempo em que o material fica submetido à pressão).

a_1 e b_1 são constantes que dependem do tipo de material e suas condições.

(2) mostrando o efeito da pressão

$$E = a_2 \log P + b_2 \quad (3.4)$$

onde P é a pressão aplicada, até um determinado valor, acima do qual não muda a eficiência.

(3) avaliando o efeito da temperatura. Este se avalia de maneira mais conveniente em termos da viscosidade do óleo

$$E = b_3 - a_3 \log \mu \quad (3.5)$$

onde μ é a viscosidade dinâmica do óleo.

CHUPAKIN e DORMENKO (sem data), em sua publicação, que trata de equipamentos para processamento de pescado, estabeleceram cálculos para determinação do diâmetro do parafuso e capacidade do motor de prensas contínuas, empregadas na expressão do pescado cozido. Com o trabalho dos autores, tornou-se, também, possível avaliar a potência necessária para movimentação da prensa, através de equação desenvolvida por eles, para essa matéria prima.

De uma maneira geral, a prensagem de materiais aquosos é análoga à filtração através de um sólido altamente compressível e as equações hidrodinâmicas que governam o fluxo através de uma torta de filtro à pressão constante são similares às que governam através de uma torta de prensa e esta deve ser compressível (SCHWARTZBERG et alii, 1977).

ORR (1977) no seu livro sobre filtração, afirma que a matemática de prensagem é dividida em duas partes, sendo a primeira caracterizada pelos mecanismos de filtração e a segunda caracterizada pela consolidação dos sólidos.

Assim, SHIRATO et alii (1971) aplicaram à filtração e prensagem de pastas ("slurries") e leite de partículas resultante (torta), que são individualmente incompressíveis (mas deformáveis), essa teoria dos dois mecanismos, considerando que no início o leite se formou como resultado do estado de filtração da pasta homogênea

e concentrada. No momento em que não existia mais pasta livre sobre a torta depositada, iniciou-se o estado de consolidação, durante o qual o fluido foi expelido devido à consolidação do leito de partículas. Ao tratar esse fenômeno, o autor utilizou muito da teoria de Terzaghi sobre consolidação de solos.

Porém a maioria dos processos envolvendo materiais celulares difere dos casos tratados por Shirato, pois ao invés de se trabalhar com uma pasta, neste caso, trabalha-se com um leito particulado que inicialmente contém pouquíssimo ou nenhum fluido intersticial.

SCHWARTZBERG et alii (1977), trabalhando com maçãs, alfafa picada, café moído e esgotado por extração, e espuma de plástico, baseando-se nas equações obtidas por Shirato e por Terzaghi, desenvolveram as suas próprias, que podem ser consideradas as mais completas das encontradas na bibliografia. Tratam-se de relações diferenciais, que tem como incógnita o gradiente de pressão aplicada com relação ao tempo e levam em consideração vários parâmetros importantes na prensagem, como a velocidade superficial do fluido, a resistência específica da torta, o volume específico dos sólidos. Os autores, com a pesquisa realizada, conseguiram a caracterização e a correlação entre a tensão estática e dinâmica de compactação antes do estabelecimento do fluxo, a correlação entre tensão e tempo de relaxamento, etc.

Com um trabalho realizado com maçãs, KÖRMENDY (1964) desenvolvendo uma teoria sobre prensagem, através da análise de alguns trabalhos na área, chegou a uma correlação que envolve todas as variáveis relevantes. A conclusão mais importante alcançada é que o tempo de prensagem (ou tempo de aplicação da pressão) necessário para se chegar ao mesmo rendimento percentual de fluido é proporcional ao quadrado da espessura dos materiais a serem prensados. Desta

forma:

$$\frac{\Theta_1}{\Theta_2} = \left(\frac{Li_1}{Li_2} \right)^2 = \left(\frac{Sm_1}{Sm_2} \right)^2 = \left(\frac{Gi_1}{Gi_2} \right)^2 \quad (3.6)$$

onde Li_1 e Li_2 são espessuras iniciais diferentes

Gi_1 e Gi_2 são as massas iniciais do material a ser prensado

Sm_1 e Sm_2 são as massas da fase sólida,

lembrando que a área seccional transversal escolhida é unitária.

O mesmo autor em outro trabalho (1971), procurou encontrar uma equação para rendimento de suco (de maçã) e pressão aplicada e verificou que, nas suas condições experimentais, era obedecida a correlação:

$$Y_o = A P_o^B \quad (3.7)$$

sendo Y_o o rendimento em suco, percentual

P_o a pressão em kp/cm^2 (kilo pond. = kgf)

e A e B são constantes, determinadas pelo método de mínimos quadrados. No caso, para os materiais tratados, foram encontrados os valores de 48,8 para A e de 0,2 para B (o que corresponde a uma raiz quinta).

3.4. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS DE CEBOLA

O uso de prensagem como meio de obtenção de produtos de cebola é muito pouco frequente na literatura, porém não se pode dizê-lo original.

HUTH (1972) e SCHALLER (1979) já a haviam usado para obtenção de suco de cebola, que a seguir era submetido a algum tipo de processamento. O que se fazia com a polpa ou bagaço não é noticiado, mas tudo indica que era descartada.

BLUMENTHAL (1947) reporta a fabricação artesanal, em escala de pequena indústria, de extrato de cebola a partir do bagaço. O suco era descartado, por causar uma fluidez excessiva ao extrato, deixando-o sem consistência característica.

Através de consultas feitas a indústrias norte-americanas, fabricantes de equipamentos, notou-se que, em se tratando de processamento de cebola, com exceção da secagem, há uma grande falta de informação a fornecer. Os fabricantes contactados ressaltaram a necessidade de "a priori" realizarem testes com o material, para depois recomendarem o equipamento adequado.

Pode-se então constatar pela bibliografia, que nunca houve qualquer preocupação em se tratar a prensagem de cebola e seus produtos como um todo, sem descarte de alguma fração. Aliás, no caso específico de cebola, nem mesmo a operação unitária de prensagem foi tratada como um todo. Apenas SCHALLER e KNORR (1975) demonstraram preocupação com parâmetros diretamente ligados à prensagem, como tempo de prensagem, tempo de tratamento pectolítico, pressão aplicada, espessura inicial da camada, rendimento do suco e analisaram as interrelações entre os parâmetros. O estudo foi feito com cebola, abricó e groselha, a faixa de pressão empregada variou de 5,3 a 11,0 kgf/cm² e a quantidade de material submetido à expressão era de 0,1 kg. Tratava-se, portanto, de um trabalho em escala laboratorial o que não necessariamente inviabiliza sua transposição para operações industriais de prensagem, desde que se empregue o mesmo tipo de prensa.

A escassez de dados nessa área é notória e neste trabalho foi necessária sua obtenção experimental, em procura de informações escaláveis.

3.5. MATERIAIS E MÉTODOS

A matéria prima empregada era cebola da variedade Baia pe riforme, cultivada em Piedade - SP. O teor de sólidos totais do material variou, nos experimentos feitos, de 8 a 12%.

Nas experiências realizadas, a matéria prima, previamente triturada e acondicionada em lona de malha fina ($0,5 \text{ kg/m}^2$), foi submetida à prensagem.

Utilizou-se uma prensa hidráulica marca Sardik, capaz de fornecer até 12 kgf/cm^2 , com uma superfície de prensagem de $0,40 \times 0,50 \text{ m}$. Para que se tivesse uma homogeneidade operacional, o acondicionamento do material na lona era sempre feito com o auxílio de molde, cujas medidas eram $0,255 \times 0,335 \text{ m}$. (Área = $0,0854 \text{ m}^2$).

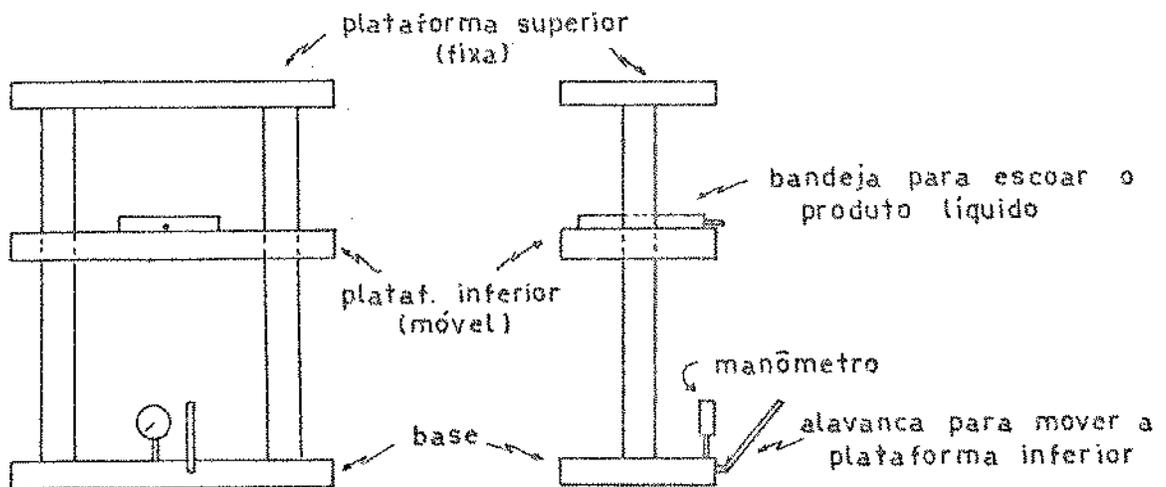


Figura 3.1. Desenho esquemático da prensa hidráulica

Tentou-se avaliar, incluindo diversas repetições, a influência do tempo, pressão aplicada, quantidade do material tratado e umidade do mesmo, no rendimento da operação.

A faixa de pressões empregadas variou de 5,9 a 9,4 kgf/cm² manométricas, correspondendo a leituras de 5 a 8 ton. Apesar da prensa utilizada haver sido projetada para fornecer até cerca de 12 kgf/cm², por problemas operacionais a máxima pressão que se conseguiu aplicar foi de 9,4 kgf/cm².

Os diferentes tempos de operação variaram de 4 a 12 minutos, sendo usados, na maioria das vezes, tempos pares.

O efeito da espessura de camada foi avaliado de forma indireta, através das diferentes quantidades tratadas de material. Essas variaram de 1,5 a 3,0 kg. Embora possa parecer uma faixa muito estreita, a pequena capacidade da prensa não permitiu estudos com variações mais amplas.

Os rendimentos foram determinados baseados na razão entre a quantidade obtida de suco e a quantidade total de material submetida à prensagem. O conteúdo de sólidos do suco relacionado à massa de suco final dá o rendimento da prensagem em concentração de sólidos.

É comum ocorrer, em práticas de prensagem, segundo GURNHAM e MASSON (1946) que um sistema sólido-líquido possa ser comprimido sob uma pressão definida e mantido assim até que o fluxo cesse e, se, logo se reaplica a mesma pressão, uma quantidade extra de líquido é obtida. Isso se verifica, particularmente, se é feito um rearranjo do material antes da segunda prensagem. Esse fenômeno pode ser atribuído a um equilíbrio causado por uma ligação dentro da massa, que protege uma parte do líquido da pressão a que é submetido. Na época

não havia ainda sido desenvolvida a teoria de consolidação, porém acredita-se que seja esse o mecanismo responsável pelo comportamento comentado acima.

Assim, a forma de carregar a câmara de compressão pode afetar as características de prensagem e supostamente testes idênticos viriam a mostrar variações nas relações pressão-volume específico.

Procurando evitar que essa situação ocorresse nesse trabalho experimental, tentou-se minimizar o efeito da carga, realizando-a sempre da mesma maneira, como já foi citado, através do uso de moldes.

O rendimento da operação foi avaliado através dos resultados obtidos pelas seguintes relações:

$$\eta \text{ suco: } \frac{\text{massa suco obtida}}{\text{carga total}}$$

$$\eta \text{ prensagem: } \frac{\text{massa suco} + \text{massa bagaço}}{\text{carga total}}$$

Para o cálculo do rendimento de prensagem descontava-se a quantidade de bagaço que ficava retida na lona.

3.6. RESULTADOS E SUA ANÁLISE: EFEITO DAS VARIÁVEIS

O efeito das diferentes condições na eficiência de prensagem (rendimento) está apresentado nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3.

3.6.1. Efeito da pressão:

O efeito da pressão no rendimento da operação é ilustrado na Tabela 3.1. e pode-se notar que um aumento de pressão (na faixa de 5,9 a 8,2) resulta em aumento do rendimento. À pressão de 9,4 kgf/cm² houve uma pequena diminuição, porém a carga submetida à prensagem era menor. Isso permite concluir que na faixa estudada, um aumento de pressão implica em aumento de rendimento de retirada de suco.

Tabela 3.1. Efeito da pressão no rendimento da operação

Número da corrida	Pressão (kgf/cm ²)	Tempo de prensagem (min)	Massa de amostra (kg)	Carga (kg/m ²)	Rendimento suco (%)	Rendimento da prensagem (%)
1	5,9	8	2,0	23	68	86
2	7,0	8	2,0	23	77	99
3	8,2	8	2,0	23	79	99
4	9,4	8	1,5	17,4	76	99

Há porém que se considerar que existe normalmente uma quantidade residual de fluido, variável de acordo com o material tratado, que nunca se conseguirá eliminar, por maior que seja a pressão aplicada. Em alguns casos, a água plastifica o sólido, impedindo a sua fragmentação e exudação do líquido (SCHWARTZBERG et alii, 1977).

Analisando-se os produtos obtidos através da prensagem, verificou que de 1 kg de cebola triturada resultaram 0,3 kg de bagaço ou polpa úmida. Essa polpa, segundo determinações feitas, apresentava um teor médio de umidade de 83%, ou seja, em 0,3 kg de bagaço havia 0,25 kg de água. Considerando-se que a cebola "in natura" tinha cerca de 90% de água, restavam no bagaço 28% de água inicial da matéria prima que se concluiu ser a quantidade residual de umidade, que não será possível retirar através desta operação.

3.6.2. Efeito do tempo:

A Tabela 3.2. que mostra a influência do tempo no rendimento da operação, permitiu a comprovação de que aumentando-se o tempo em que o material é submetido à pressão, aumenta a eficiência. A tempos menores ocorre um baixo rendimento; verifica-se que não se atingiu o equilíbrio sólido-líquido citado anteriormente. A tempos maiores os rendimentos vão aumentando, porém a diferença entre os mesmos é menor: poder-se-ia até considerá-la não significativa. Nos tempos de 8, 10 e 12 minutos já ocorre um menor incremento nos resultados e em consequência, todas as medidas experimentais que não envolveram variação do parâmetro tempo, tiveram o mesmo fixado em 8 minutos, que é o menor dos tempos que resultou em rendimento de equilíbrio.

A colocação feita anteriormente a respeito do não aumento da exudação de líquido a partir de determinadas pressões parece tam

Tabela 3.2. Efeito do tempo no rendimento da operação

Número da corrida	Pressão (kgf/cm ²)	Tempo de prensagem (min)	Massa de amostra (kg)	Carga (kg/m ²)	Rendimento em suco (%)	Rendimento da prensagem (%)
1	9,4	4	2,0	23	55	85
2	9,4	6	2,0	23	67	99
3	9,4	7	2,0	23	69	99
4	9,4	8	2,0	23	69,5	98
5	9,4	10	2,0	23	71	99
6	9,4	12	2,0	23	72	99

bém ser viável, quando o parâmetro em variação é o tempo. Mesmo com o seu aumento, pela plastificação do sólido, atinge-se uma faixa em que não ocorre acréscimo no rendimento.

3.6.3. Efeito da carga de material:

Através da Tabela 3.3., onde se vê o efeito da variação de carga no rendimento da operação, nota-se a tendência ao estabelecimento de um valor ótimo, abaixo do qual os rendimentos decrescem rapidamente, e lentamente a cargas maiores. Com as cargas de 2,0 e 2,2 kg foram obtidas as maiores porcentagens de suco e a menor carga que implicou em rendimento alto foi sempre empregada, quando se verificou influência de outros fatores.

As espessuras menores foram menos estudadas, mas constatou-se que a menor delas resultou em um rendimento muito baixo; é provável que a compactação da massa ocorra mais facilmente, impedindo a saída de suco e resultando em menor eficiência.

3.6.4. Efeito da umidade:

Em virtude das diferentes épocas do ano em que foi feito o trabalho, havia diferentes valores de umidade, para cebolas de mesma região e cultivar. Embora não tenha sido uma variável controlável, constituiu um parâmetro de influência nas experiências.

Considerou-se então, importante verificar como se comportava o material, com diferentes conteúdos de água, quando submetido à prensagem.

A umidade teria um efeito na prensagem, que merece ser comentado. O comportamento lógico esperado seria que a umidades maiores, mesmo com o emprego de pressões mais baixas, se obtivesse maio

Tabela 3.3. Efeito da Variação de Carga no Rendimento da Operação

Número da corrida	Pressão (kgf/cm ²)	Tempo de prensagem (min)	Massa de amostra (kg)	Carga (kg/m ²)	Rendimento em suco (%)	Rendimento da prensagem (%)
1	9,4	8	1,15	13,3	54	98
2	9,4	8	1,75	20,2	76	98
3	9,4	8	2,00	23	81	99
4	9,4	8	2,20	25,4	81	99
5	9,4	8	2,30	26,6	79	98
6	9,4	8	2,50	29	76	99
7	9,4	8	3,00	35	75	99

Tabela 3.4. Efeito da variação de unidade no rendimento da prensagem

Número da corrida	Unidade da cebola (b.s. %)	Pressão (kgf/cm ²)	Tempo de prensagem (min)	Massa de amostra (kg)	Carga (kg/m ²)	Rendimento em suco (%)	Rendimento da prensagem (%)	Unidade do bagoço (b.s.%)	Relação $\frac{\text{Un. cebola}}{\text{Un. bagoço}}$
1	617	9,4	8	2,0	23	70	99	443	1,39
2	671	9,4	8	2,0	23	77	99	516	1,30
3	710	9,4	8	2,0	23	72	99	488	1,45
4	880	9,4	8	2,0	23	75	99	640	1,37

res rendimentos em suco. A umidade em excesso seria facilmente expelida; o efeito da plastificação do sólido demoraria mais para ocorrer.

Porém, através da análise da Tabela 3.4., não foi possível comprovar-se o esperado. A relação entre umidade da cebola e umidade do bagaço, em todos os casos apresentados, impediu até mesmo que se observassem tendências.

3.7. RELAÇÕES EMPÍRICAS SIMPLES: SUA APLICABILIDADE AO PROBLEMA EM ESTUDO E CORRELAÇÃO AJUSTADA

Tentou-se correlacionar os dados experimentais obtidos, já apresentados a equações empíricas simples, procurando-se verificar a aplicabilidade das mesmas.

No item 3.3., foi apresentada a equação 3.1., desenvolvida por KOO (1942). Analisando-se essa equação, verifica-se que a relação $C W_o/\sqrt{Y}^n$ é praticamente constante, dentro das pequenas variações de umidade, para o caso de prensagem de cebola. Constata-se ainda que a pressão empregada exerce influência muito mais significativa que o tempo, no rendimento do processo. Porém, pelos dados experimentais apresentados na Tabela 3.1. e Tabela 3.2., chegou-se à verificação de que a influência desses dois parâmetros na eficiência de prensagem é quase que da mesma ordem. Isto descartou a aplicabilidade da equação de Koo para a prensagem da cebola.

Tal comportamento não era imprevisível, em virtude das diferentes características dos materiais, visto que o autor trabalhou com sementes oleaginosas, que são relativamente secas e podem ser

quebradas em pequenos fragmentos, levando a eficiências elevadas de extração de óleo por prensagem e implicando também em diferentes influências dos parâmetros avaliados.

A equação 3.2. aplicada por GURNHAM e MASSON (1946) a materiais fibrosos não pode ser testada nesse trabalho, porque não se teve a possibilidade de verificar o que acontecia à relação pressão-volume do material, no processo de prensagem. Porém pela simplicidade da hipótese e da correlação, pode-se prever (teoricamente) que o aumento da densidade, proporcional ao aumento da pressão empregada, ocorre até se atingir o equilíbrio.

Avaliando-se as equações desenvolvidas por WORTHINGTON et alii (1954), pode-se verificar que qualitativamente a equação 3.3 que relaciona o tempo de operação ao rendimento de prensagem, se aplica aos resultados obtidos experimentalmente. Os valores das constantes, a_1 e b_1 não são mencionados nesse trabalho; sabe-se que são dependentes do material em estudo. Assim, para que se pudesse avaliar a aplicação quantitativa da equação, foram calculados a_1 e b_1 para cebola triturada prensada, através de uma análise de regressão dos dados experimentais. O valor encontrado para a_1 foi 33,80 e para b_1 foi 37,92, e o coeficiente de correlação foi de 0,91. Os rendimentos obtidos através da equação, juntamente com os experimentais, são mostrados na Tabela 3.5.

As eficiências encontradas com a aplicação da equação são próximas aos valores experimentais, correlacionando bem os dados.

A equação 3.4., do mesmo autor, relaciona a pressão de operação ao rendimento. Também apresenta duas constantes a_2 e b_2 , dependentes do material, que foram determinadas por análise de regressão. Os valores obtidos para a_2 e b_2 foram, respectivamente, 40,37 e 39,65 e o coeficiente de correlação foi de 0,73. Os rendimentos

Tabela 3.5. Rendimentos obtidos experimentalmente e através da equação de Worthington et alii para avaliação do efeito do tempo

TEMPO (min)	RENDIMENTOS EXPERIMENTAIS (%)	RENDIMENTOS OBTIDOS ATRAVÉS DA EQUAÇÃO (%)
4	55	58
6	67	64
7	69	66,5
8	69,5	68,5
10	71	71,5
12	72	74,5

experimentais e os encontrados com a aplicação da equação estão apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6. Rendimentos experimentais e obtidos através da equação de Worthington et alii para avaliação do efeito da pressão

PRESSÃO (kgf/cm ²)	RENDIMENTOS EXPERIMENTAIS (%)	RENDIMENTOS OBTIDOS PELA EQUAÇÃO (%)
5,9	68	71
7,0	77	74
8,2	79	76,5
9,4	76	79

Verifica-se que os rendimentos experimentais obtidos com a aplicação da equação são semelhantes aos experimentais, podendo-se considerar razoável a correlação da equação de Worthington. A equação 3.5. também do mesmo autor, teve a função de avaliar o efeito da temperatura, através da viscosidade do óleo, porém foi invalidada nesse estudo, por ser desaconselhável a variação de temperatura para um material como a cebola triturada.

A equação desenvolvida por SCHWARTZBERG et alii (1977) e que não pode ser considerada uma correlação empírica simples, não resultou aplicável ao presente trabalho, que teve como preocupação principal relacionar o rendimento aos diferentes parâmetros avaliados. Para que houvesse possibilidade de estabelecer o gradiente de pressão mecânica com relação ao tempo, dever-se-ia ter medido a velocidade superficial do fluido em relação às partículas, determinando o volume específico por unidade de peso de sólidos não expressáveis. Todas essas insuficiências impediram que se correlacionasse essa equação aos resultados encontrados, mas isso não constitui falha grave, visto que o objetivo principal não era se fazer esse tipo de avaliação.

Verificando-se a aplicabilidade da equação 3.6., desenvolvida por Körmeny, constatou-se que a mesma não se ajusta para o caso de cebola triturada. A correlação supõe um efeito menos intenso do tempo de prensagem sobre o rendimento; há a necessidade de muito mais tempo na prensagem de maçã para se obter o mesmo rendimento que o conseguido com cebola. A estrutura diversa dos materiais e o alto conteúdo de pectina da maçã devem contribuir para esse acontecimento e com isso não se consegue aplicar a equação para o nosso caso.

Já a equação 3.7., desenvolvida pelo mesmo autor, encontrou aplicabilidade à prensagem de cebola e a faixa de valores, obti

as pressões de 5,9, 7,0, 8,2 e 9,4 kgf/cm² os rendimentos obtidos foram, respectivamente, 71, 74, 76 e 78%.

Todos os rendimentos encontrados, obtidos através de diferentes análises, são apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Rendimentos experimentais e rendimentos obtidos através da equação de Kőrmendy e de ajustes da mesma

Pressão (kgf/cm ²)	Rendimentos experimentais (%)	Rendimentos através eq.3.7	Rendimentos análise regressão (%)	Rendimentos análise de desvios (%)
5,9	68	69	70	71
7,0	77	72	73	74
8,2	79	74	76	76
9,4	76	76	78	78

A soma dos desvios é mínima para o último ajuste feito. Em consequência, julgou-se ser este o ajuste mais indicado da correlação de Kőrmendy, no caso específico da cebola. A equação 3.7. passa então a ser a seguinte:

$$Y_o = A p_o^B$$

onde A = 50 e B = 0,2

Das equações obtidas na literatura, verificou-se que apenas três mostraram correspondência aos dados experimentais: as desenvolvidas por Worthington para avaliar o efeito do tempo e da pressão na eficiência, Eqs. 3.3. e 3.4., e a de Kőrmendy que reporta a influência da pressão Fig. 3.7. A pequena modificação feita no coeficiente dessa última equação correlaciona melhor os dados, para o material específico tratado nesse estudo.

as pressões de 5,9, 7,0, 8,2 e 9,4 kgf/cm² os rendimentos obtidos foram, respectivamente, 71, 74, 76 e 78%.

Todos os rendimentos encontrados, obtidos através de diferentes análises, são apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Rendimentos experimentais e rendimentos obtidos através da equação de Körmendy e de ajustes da mesma

Pressão (kgf/cm ²)	Rendimentos experimentais (%)	Rendimentos através eq.3.7	Rendimentos análise regressão (%)	Rendimentos análise de desvios (%)
5,9	68	69	70	71
7,0	77	72	73	74
8,2	79	74	76	76
9,4	76	76	78	78

A soma dos desvios é mínima para o último ajuste feito. Em consequência, julgou-se ser este o ajuste mais indicado da correlação de Körmendy, no caso específico da cebola. A equação 3.7. passa então a ser a seguinte:

$$Y_0 = A p_0^B$$

onde A = 50 e B = 0,2

Das equações obtidas na literatura, verificou-se que apenas três mostraram correspondência aos dados experimentais: as desenvolvidas por Worthington para avaliar o efeito do tempo e da pressão na eficiência, Eqs. 3.3. e 3.4., e a de Körmendy que reporta a influência da pressão Fig. 3.7. A pequena modificação feita no coeficiente dessa última equação correlaciona melhor os dados, para o material específico tratado nesse estudo.

Contudo, a prensagem, no caso de materiais celulares, entre eles a cebola, necessita de maior estudo e desenvolvimento.

Pode-se observar que o tipo de tratamento a que foi submetido o material e a escala de trabalho constituíram um fato novo na literatura. No trabalho de SCHALLER e KNORR (1975), encontraram - se condições de pesquisa semelhantes às aqui descritas e as conclusões por eles apresentadas são concordantes às nossas. Verificou-se assim uma correspondência da escala laboratorial, usada pelos autores, à escala piloto, empregada nessa pesquisa.

3.8. ASPECTOS ENERGÉTICOS

Segundo SCHWARTZBERG et alii (1977), a quantidade de energia para desidratação obtida por prensagem é muito menor que a necessária para remoção de água pelo calor. Por exemplo, 1,6 kcal/kg são necessários para retirada de água a uma pressão de 73 kgf/cm², enquanto que para remoção da mesma quantidade de água pelo calor necessita-se de aproximadamente 550 kcal/kg. Esse é ainda um dado teórico, visto que num secador parte da energia fornecida não é aproveitada; seu valor real aproximado seria de 1000 kcal/kg.

Analisando-se o consumo de energia da prensagem realizada, chegou-se a um valor de 0,18 - 0,19 kcal por quilo de suco retirado, quando se empregou uma pressão de 9,4 kgf/cm².

Quando a pressão foi de 7,0 kgf/cm², o consumo atingiu a 0,13 - 0,14 kcal/kg de suco.

Esses resultados são da mesma ordem dos reportados na literatura, já citados. Tal fato prova a viabilidade de se usar a prensagem como um método de remoção de água, de baixo insumo energético.

Com o intuito de se mostrar as diferentes necessidades energéticas dos processos de prensagem e de secagem, elaborou-se a Tabela 3.9., que mostra os respectivos insumos. Os dados para secagem são da literatura; o valor de 2 kg de vapor/kg água é o valor médio representativo da secagem com ar quente sem recirculação. Os de prensagem são experimentais, baseados nos resultados práticos obtidos.

Através da mesma, constata-se a grande vantagem energética que a prensagem oferece em relação à secagem. É pena porém, que a primeira tenha uma faixa limitada de aplicação, visto que apenas parte da água pode ser removida por prensagem, com as técnicas usualmente disponíveis.

Mesmo sendo a água (suco) retirada submetida a um processo de concentração e o bagaço submetido à secagem, chega-se a uma necessidade energética global (de todo o processo) consideravelmente menor que se somente a secagem fosse utilizada.

3.9. PRENSAGEM EM OPERAÇÃO CONTÍNUA. TRANSPOSIÇÃO PARA A ESCALA INDUSTRIAL

As experiências realizadas em escala piloto, a batelada, permitiram que se obtivesse, dentre outros resultados, o rendimento da operação de prensagem. Foi assim que se verificou que, alimentando-se a prensa com uma matéria prima com teor de sólidos totais de 12%, originava-se o correspondente a 70% da quantidade alimentada em suco a 10° Brix e cerca de 30% de bagaço ou polpa com concentração de sólidos totais de 17%.

Porém, a prensa em escala industrial pode ser do tipo contínua. Dentre as contínuas, a mais acessível é a prensa tipo "expeller" ou prensa de parafuso. Tendo princípios de funcionamento diver-

Tabela 3.9. Consumo aproximado de energia nos processos de prensagem e secagem

Pressão aplicada (kgf/cm ²)	Prensagem		Secagem (ar quente)		**
	Água* eliminada	Cons. energia (kcal/kg água)	Água eliminada (%)	Cons. energia (kcal/kg água)	
4,7	65%	0,11	65	1080	
5,9	66%	0,13	66	1080	
7,0	69%	0,15	69	1080	
8,2	71%	0,20	71	1080	
9,4	68%	0,19	68	1080	

* Água eliminada = Rendimento em suco-porcentagem em sólidos do suco

** Baseado em que na secagem necessita-se de 2 kg de vapor para se evaporar 1 kg de água

tos da prensa hidráulica, empregada em escala piloto, fez-se necessário a verificação das melhores condições de operação desse equipamento ao processar um material como a cebola.

MATHISMOEN (1977), descrevendo o aproveitamento de resíduos e águas residuárias da indústria processadora de açúcar de beterraba, reporta a prensagem desse material em prensa tipo "parafuso". Previamente à prensagem, submetiam-se os resíduos a uma desintegração em moinho. Essa prensa, quando funcionando a uma velocidade de 7,5 rpm, e uma capacidade de aproximadamente 1600 kg/h, aumentava o conteúdo de matéria seca dos efluentes de 12% para 23%.

A prensa por nós usada para testes em escala comercial foi uma contínua do tipo "expeller", que consiste de um parafuso rotativo perfeitamente ajustado dentro de um cilindro com fendas ou perfurações. O cilindro e o parafuso são afilados na direção da extremidade de descarga. Essa extremidade é parcialmente fechada por um cone ajustável ou outro dispositivo, para mudar o tamanho da abertura e variar, desta forma, a pressão sobre o material. A rotação do parafuso faz com que a alimentação se movimente para a frente quando a pressão aumenta; o líquido é expelido e sai pelas aberturas do cilindro.

Avaliou-se a influência dos seguintes parâmetros: a taxa de compressão, cuja variação era feita através da modificação do passo do parafuso e a velocidade de movimentação do material, que era alterada de acordo com a rotação impressa no parafuso; verificou-se a pouca influência do cone e devido a isso, não foi variada a regulação da abertura.

Os resultados obtidos encontram-se expostos na Tabela abaixo, Tabela 3.10.

Tabela 3.10. Resultados obtidos em prensa contínua

Número da corrida	Taxa de compressão	Velocidade de rotação (rpm)	Massa de material processado (kg)	η suco (%)	η bagaço (%)
1	1/4	12	10.0	68*	20
2	1/7	10	20.0	78	21
3	1/7	21	20.0	64*	20

* Houve perdas importantes de suco

A condição mais adequada de operação dessa prensa, para a finalidade a que se propõe essa pesquisa, é a estabelecida pela corrida número 2. Segundo as determinações feitas, o suco resultante dessa etapa apresentou um teor de sólidos solúveis de 7.5% e o bagaço atingiu 14,5% de sólidos totais. A matéria prima utilizada tinha um conteúdo de sólidos totais de 8%.

O uso de uma taxa de compressão menor (1/4, corrida número 1) levou a rendimentos mais baixos e por isso essa condição foi descartada.

O aumento da velocidade de rotação (corrida número 3) aumentou a capacidade do equipamento, levou a tempos de residência menores mas diminuiu o teor de sólidos dos produtos finais. Nessa situação operacional, registrou-se um conteúdo de sólidos solúveis no suco de 7,0° Brix e o bagaço saiu com apenas 11,5% de sólidos totais. Por essa razão, além da queda apresentada no rendimento, considerou-se indesejável esse aumento na rotação do parafuso.

Os resultados aqui apresentados foram bastante semelhantes aos que se obteve operando em escala piloto descontínua.

A transposição dos experimentos para a escala industrial é

perfeitamente viável, desde que se use o mesmo tipo de prensa que se empregou nesse estudo. Para os outros casos, não é possível se fazer a priori nenhum tipo de afirmação.

3.10. CONCLUSÕES

Através das experiências realizadas, foi possível concluir-se que:

- (1) Tanto o processo contínuo como o descontínuo resultaram viáveis, para o objetivo a que se propunham. As eficiências encontradas nos dois processos foram bastante próximas e comprovou-se a transposição dos resultados em escala piloto para a escala comercial.
- (2) A prensagem originou suco e bagaço ou polpa úmida. Usando uma matéria prima com teor de sólidos de 12%, obteve-se cerca de 70 % da quantidade de matéria prima processada em suco a 10°Brix e 30% de bagaço ou polpa úmida com conteúdo médio de sólidos de 17%.
- (3) Na faixa de pressões estudada, um aumento de pressão implicou em aumento de rendimento em suco. A equação desenvolvida por Worthington et alii, correlacionando a pressão à eficiência de prensagem é válida. A aplicação de análise de regressão revelou um coeficiente de correlação de 0,73, que devido ao pequeno número disponível de dados pode ser aceitável. A outra correlação aplicável encontrada foi a de Körmeny (eq. 3.7), correlacionando bem os dados, o novo coeficiente sugerido para essa correlação prevê rendimentos mais próximos aos que se obtiveram nas experiências efetuadas.

- (4) O estudo da influência do tempo no rendimento da operação permitiu verificar que se aumentando o tempo em que o material é submetido à pressão, aumenta a eficiência. Nos tempos de 8, 10 e 12 minutos ocorre uma estabilização nos resultados. Uma das equações reportadas na bibliografia, a de Worthington et alii, relaciona-se qualitativamente aos dados experimentais encontrados e quantitativamente sua aplicação resulta em valores bastante próximos aos experimentais.
- (5) A variação da carga de material submetida à expressão possibilitou que se estabelecesse um valor ótimo, acima do qual, os rendimentos em suco decresciam lentamente e abaixo, o decréscimo era rápido. O valor ótimo de carga foi de 23 kg/m^2 .
- (6) A verificação do efeito da umidade impediu que se chegassem a conclusões, visto os resultados encontrados serem discrepantes.
- (7) Pelas experiências e cálculos efetuados, chegou-se a insumos energéticos da operação de prensagem bastante próximos aos encontrados na bibliografia, cerca de $0,15 \text{ kcal/kg}$ de suco eliminado para uma pressão de $7,0 \text{ kgf/cm}^2$.
- (8) Os testes de prensagem realizados em prensa contínua comercial possibilitaram o estabelecimento da condição mais viável de operação: taxa de compressão de $1/7$ e velocidade de 10 rpm .

4. CONCENTRAÇÃO

4.1. INTRODUÇÃO

Tratando-se de um assunto elaborado aprofundadamente na bibliografia e pelos fornecedores de equipamento, esta etapa foi sucintamente desenvolvida no plano experimental. O seu objetivo foi confirmar o comportamento da matéria prima nacional.

SCHALLER (1979) estudou o comportamento reológico e a vida útil do suco concentrado de cebola, com uma quantidade de sólidos solúveis que variava de 50 a 80° Brix. O processo usado para obtenção do suco era a evaporação, mas o autor não detalhou essa etapa.

HUTH (1972) patenteou um processo através do qual se obtinha suco concentrado de cebola, estéril. O autor afirma que submetendo o suco de cebola, obtido através da prensagem, a um tratamento do tipo temperatura alta, tempo curto (HTST) e depois concentrando-o até um conteúdo de matéria seca de 72%, podia-se manter o produto nessa forma, sem necessidade de adição de preservante. Os vapores de alto teor aromático, desprendidos durante o processo eram recolhidos, submetidos à extração e adicionados ao concentrado, para padronização das qualidades organolépticas do produto final.

Logo após ter se iniciado nossa pesquisa, registrou-se na Inglaterra o funcionamento de uma indústria do grupo BushBoak Allen, que produz extrato aromático e suco de cebola concentrados, que podem ser remisturados, resultando uma emulsão fluida, com sabor e aroma semelhantes ao da cebola "in natura". Com esse tipo de produto, a indústria pretende atingir fabricantes de embutidos, enlatadoras, produtores de temperos e molhos prontos (notas de Food Processing Industry e Food Trade Review, junho 1981).

O objetivo inicial dessa etapa de trabalho era a obtenção de suco concentrado, com o respectivo extrato aromático e a verificação da manutenção, através do processo, das propriedades organolépticas características da matéria prima. Esses controles seriam feitos através da análise cromatográfica da matéria prima, suco concentrado e água evaporada no processo. Com os perfis cromatográficos, analisar-se-ia a retenção dos compostos voláteis nos produtos finais, comparando-se esses cromatogramas ao da matéria prima. Baseado nos resultados, seria possível verificar-se a viabilidade tecnológica do processamento. Porém, devido a problemas operacionais e a falta de equipamentos adequados, pouco se pode avançar no estudo da evaporação do suco e suas consequências nos produtos resultantes. Lamentavelmente chegar a essa conclusão consumiu uma considerável parcela de tempo. Os cromatogramas que se conseguiu encontram-se no Apêndice A.

Desta forma, nessa área específica, a pesquisa foi desenvolvida superficialmente. Contudo isso não invalida as conclusões do trabalho, que apresentam algumas observações muito raramente encontradas na literatura.

4.2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Os experimentos de evaporação em escala piloto, foram desenvolvidos num evaporador tipo termo sifão, constituído de uma câmara de vapor ligada a um corpo de vidro (separador). O líquido permanece circulando entre essas duas unidades, por ação da descompressão súbita ("flash") que ocorre ao entrar no separador e pela diferença de densidade que há nas diferentes alturas do corpo do evaporador. O sistema pode operar sob vácuo, o que permite abaixar o ponto de ebulição, medida necessária quando se trabalha com produtos termosensíveis.

O equipamento encontra-se esquematizado na Figura 4.1.

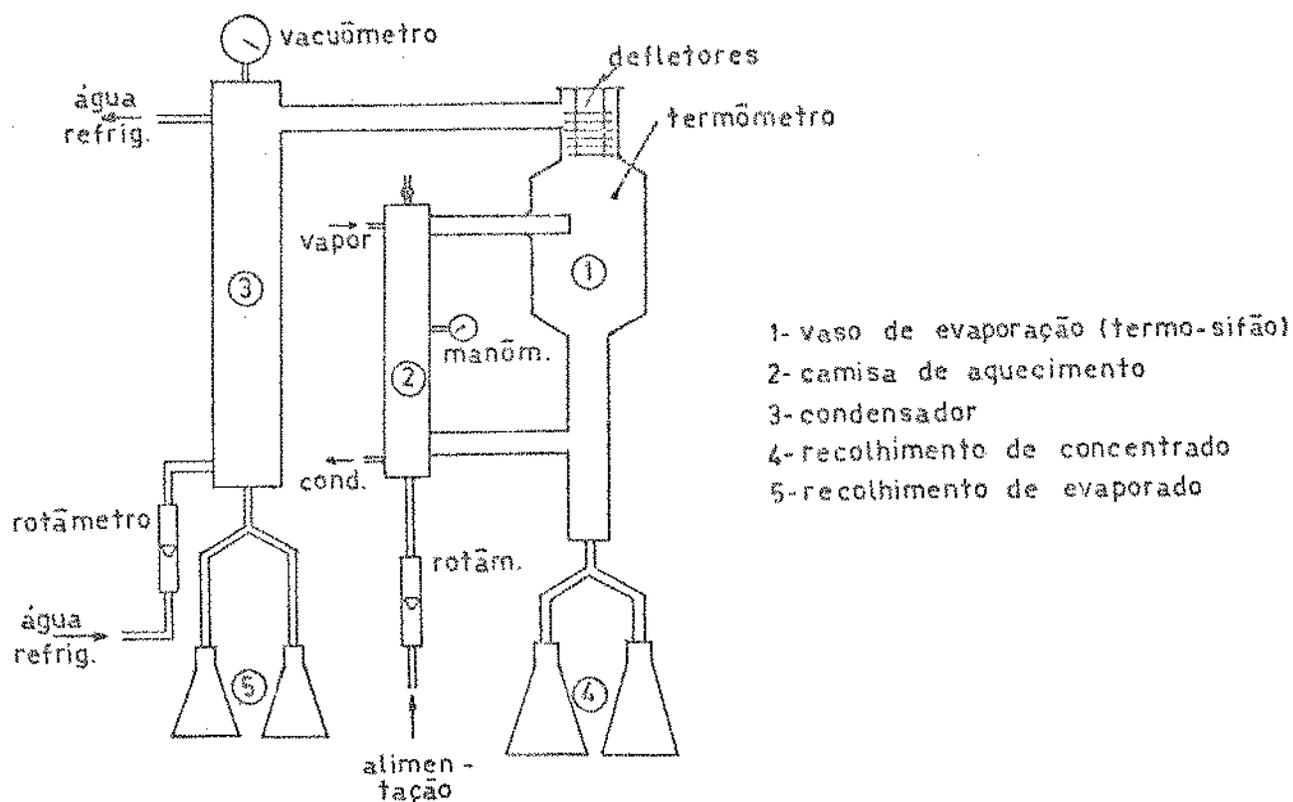


Figura 4.1. Esquema do evaporador "Precision Scientific"

Diante da disponibilidade de correlações confiáveis para estabelecer a transferência de massa e calor, assim como dos custos energéticos da evaporação, nossa preocupação foi controlar a conservação das propriedades organolépticas características da cebola nos produtos finais. A avaliação foi feita sensorialmente, através da determinação do limite ("threshold") de detecção do odor característico.

O método, originalmente padronizado pela A.P.H.A. (1936), para determinação de odores estranhos em água, consistiu em se tomar a mesma quantidade de amostra e água destilada, isenta de odores estranhos, representando uma diluição 1:2. A seguir, fazia-se a mistura sem agitação e exposição ao ar. Tal procedimento foi obedecido repetidamente; um volume da diluição anterior era misturado a igual volume de água, isto até que se atingisse a diluição onde não era mais possível se detectar o odor característico. Os frascos foram examinados da menor diluição até aquela em que o odor foi exatamente detectável. Este último consistia no limite de detecção e deveria ser considerado como medida de concentração de odor.

Basicamente, foram estudados sucos, em 3 faixas de concentração diferentes, originados por três processamentos distintos. Estes, para que se mantivesse uma certa uniformidade, tiveram controladas as seguintes condições operacionais: temperatura de evaporação, vácuo do sistema, pressão do vapor de aquecimento e vazão de alimentação de suco. Variou-se, para que se atingissem diversas concentrações de sólidos, o tempo de residência no evaporador.

A cebola usada para produção de suco era da variedade Baia periforme, cultivada na região de Piedade, SP, e apresentou uma umidade média de 88%, ou seja, um conteúdo de sólidos totais de 12%.

4.3. RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4.1., 4.2. e 4.3., que ilustram os efeitos do processamento e do teor de sólidos na concentração do aroma característico. A água evaporada também foi submetida à análise, por arrastar consigo uma porcentagem considerável de compostos voláteis. Os evaporados foram divididos em duas categorias, visto que a primeira porção de vapor despreendida é sempre muito mais rica em voláteis que as subsequentes.

Tabela 4.1. Medidas de potência odorífica (pO) e concentração de odor para suco concentrado a 69,5° Brix

Tempo: zero Temperatura de evaporação: 60°C

Produto	°Brix (g/100g sol)	pH	p.O ou diluições	concentração de odor	massa das frações
suco simples	10,5	5,0	7	128	6,30 kg
suco concent.	69,5	4,9	9	512	0,56 kg
evaporado 1	zero	5,1	9	512	1,60 kg
evaporado 2	zero	5,6	8	256	2,83 kg

Perdas = 0,24 kg

Tempo: 1 mês

Produto	°Brix (g/100g sol)	pH	p.O ou diluições	concentração de odor
suco simples	10,5	5,0	7	128
suco concent.	69,5	5,0	9	512
evaporado 1	zero	5,1	6	64
evaporado 2	zero	5,6	6	64

Tabela 4.2. Medidas de potência odorífica (p.O) e concentração de odor para suco concentrado a 53,5° Brix

Tempo: zero

Temperatura de evaporação: 60°C

Produto	°Brix (g/100g solução)	pH	p.O ou diluições	concentração de odor	massa das porções
suco simples	8,5	5,2	8	256	1,0 kg
suco concent.	53,5	4,8	11	2048	0,6 kg
evaporado 1	zero	6,2	8	256	1,5 kg
evaporado 2	zero	6,2	9	512	1,3 kg

Perdas = 0,6 kg

Tempo: 1 mês

Produto	°Brix (g/100g solução)	pH	p.O ou diluições	concentração de odor
suco simples	8,5	5,1	7	128
suco concent.	53,5	4,8	10	1024
evaporado 1	zero	6,2	6	64
evaporado 2	zero	6,2	7	128

Tabela 4.3. Medidas de potência Odorífica (p.O) e concentração de odor para suco concentrado a 43° Brix

Tempo: zero Temperatura de evaporação: 83°C

Produto	°Brix (g/100g solução)	pH	p.O ou diluições	concentração de odor	massa das porções
suco simples	10,0	5,4	7	128	3,7 kg
suco concent.	43,0	5,3	9	512	0,6 kg
evaporado 1	zero	6,5	8	256	1,0 kg
evaporado 2	zero	6,7	7	128	1,5 kg

Perdas = 0,6 kg

Tempo: 1 mês

Produto	°Brix (g/100g solução)	pH	p.O ou diluições	concentração de odor
suco simples	10,0	5,4	7	128
suco concent.	43,0	5,3	9	512
evaporado 1	zero	6,5	8	256
evaporado 2	zero	6,7	7	128

As análises foram realizadas nos tempos zero e 1 mês, para que se avaliasse a estabilidade dos produtos durante o armazenamento, feito em refrigeradores comuns a 4°C. Tempos maiores de estocagem não puderam ser observados, pela degradação do controle (suco simples), que nesse período (1 mês) já apresentava cor rosa e leve aroma de cebola em deterioração.

Apesar da simplicidade do método de análise empregado, os resultados obtidos permitiram que se chegasse a conclusões de certa forma, inesperadas e valiosas.

A primeira delas é que em todos os processamentos mostrados foi notório o aumento de concentração de odor nos produtos provenientes da evaporação. Na Tabela 4.2., encontra-se um único valor, o do 2º evaporado, que permaneceu igual ao do suco simples. Salienta-se que esse é o evaporado mais diluído e de maior proporção volumétrica.

Essa constatação mostra que houve geração (criação) de odor, formação de compostos voláteis aromáticos no curso da etapa de concentração e que esses compostos contribuem grandemente ao odor característico da cebola. Isso é perfeitamente viável, pois toda a formação dos componentes aromáticos ocorre por atuação enzimática da alliinase nos precursores de odor.

O emprego de temperaturas maiores que a ambiente parece ter favorecido a formação dos mesmos e no caso do suco concentrado que saiu do processo com um teor de sólidos de 43°Brix, a intensidade foi menor, por ter sido a temperatura de evaporação de 80°C, que já constitui uma temperatura limite para atividade enzimática. A faixa usual de temperaturas de inativação enzimática é de 85-100°C (CRUESS, 1973).

Já foi comprovado que a temperaturas entre 40 e 70°C, reações catalisadas enzimaticamente podem alterar as propriedades dos sucos submetidos à concentração, em poucos minutos (THIJSSSEN, 1970).

No nosso caso, essa formação ou transformação dos aromas é qualitativamente e quantitativamente positiva, como pode ser notado pelo limite de detecção muito maior do suco concentrado. Isto confirma o fato verificado por WHITAKER (1976), em trabalho já citado, onde através da análise de várias pesquisas no campo da cromatografia, constatou que a composição de voláteis de cebola varia com o tempo, devido à geração de novos compostos. O autor aconselhou que, para que se obtivesse uma análise completa dos mesmos, fossem realizados cromatogramas periódicamente, a cada 10 minutos, durante um tempo variável de 4 horas a 1 dia.

Fica evidente então, que há transformações dos componentes odoríficos já existentes e geração de novos, ocorrendo com o tempo. Nessa evaporação realizada, talvez se tenha chegado a uma temperatura e um tempo ótimo de tratamento, o que levou a um produto com maior teor de voláteis totais que o suco simples. Os estudos referidos foram de natureza qualitativa, enquanto que os nossos são quantitativos globais e permitem estimar uma taxa de geração.

As conclusões acima citadas são uma constatação não quantificada na bibliografia acessível.

Ao ser desenvolvida a análise econômica da unidade em escala industrial, analisar-se-á um evaporador com recuperação de aromas. O estudo é amplamente justificado pelo que já se pode observar. Sendo que há formação de aroma e que parte considerável dos mesmos é arrastada com a água evaporada, é bastante viável que ao invés de serem descartados, sejam recuperados.

Ainda com base nos resultados apresentados nas Tabelas, verificou-se em todos os casos a manutenção do limite de detecção de odor característico, para o suco concentrado. Os demais produtos analisados perderam aroma durante um mês de estocagem. Vê-se, então, que os produtos mais diluídos tiveram perdas consideráveis, enquanto que no suco concentrado, a alta porcentagem de sólidos funcionou como encapsuladora de aromas e os mesmos mantiveram sua potência odorífera inicial ou perderam muito pouco da que tinham (Ver Tabela 4.2).

A encapsulação de aromas pode ser explicada através do mecanismo de movimentação da umidade em alimentos. THIJSEN et alii (1968) consideram como umidade toda a substância volátil do alimento; fica então sendo composta pela água em maioria, e por quantidades bem menores de compostos orgânicos de maior peso molecular, que o autor chama de substâncias "traços". Dissolvidos na água, esses sólidos, a maioria polímeros, como carboidratos de alto peso molecular e proteínas, atuam como uma peneira molecular à passagem de umidade. Essa peneira vai impedir o fluxo de moléculas maiores não aquosas e a baixas concentrações de água, o sistema torna-se seletivamente permeável a ela.

Aliando-se o balanço de massa às respectivas concentrações de odor que aparecem nas Tabelas 4.1., 4.2. e 4.3. foi possível se chegar a relações de aumento de odor nos produtos resultantes da evaporação. Assim é que para o 1º processamento, através do qual se obteve suco concentrado a 69,5ºBrix, a relação entre aroma final/aroma inicial foi de 2,3; isto significa que nos produtos finais se tinha 2,3 vezes mais aroma que no material que lhes deu origem. O valor encontrado para os demais sucos foi de aproximadamente 2,2 para o suco de 53,5ºBrix e de 1,6 para suco de 43º Brix.

Nesses cálculos não se considerou o aroma eventualmente participante das perdas. Se se considerar que as perdas tem a mesma concentração de aroma do suco inicial, a relação ficará algo maior.

No último caso apresentado (suco de 43,5°Brix), pode-se conjecturar que o maior responsável pela menor geração de odor (comparada aos demais) foi a temperatura mais elevada da evaporação, que se manteve constante durante todo o processo. Próxima da temperatura de inativação enzimática, ela permitiu que houvesse atividade (pois ocorreu geração de odor característico), porém não em toda sua potencialidade. É conveniente salientar que esta temperatura não foi fixada arbitrariamente; ela dependia do sistema de vácuo do equipamento, que nem sempre operava a contento.

Nos outros dois casos estudados, a temperatura de evaporação foi a mesma e a razão de proporcionalidade de geração de odor bastante próxima. A temperatura, portanto, exerce influência acentuada na concentração de odor dos sucos evaporados de cebola.

As conclusões a que essa pesquisa permitiu chegar, foram de certa forma, surpreendentes. A constatação de que houve geração de odor, com um material em que esse tipo de acontecimento é amplamente viável e a verificação do fenômeno de encapsulação de aromas tornam o uso do método de determinação de concentração de odor da A.P.H.A. aplicável em vários outros estudos.

SCHWIMMER (1964), ao avaliar a viabilidade de aplicação do método de determinação de ácido pirúvico, como medida de pungência de cebolas desidratadas, usou também a medida do limite de detecção de odor e verificou que havia correlação significativa entre os dois métodos.

4.4. ASPECTOS ENERGÉTICOS

Houve ainda a preocupação de se avaliar o consumo de energia na etapa de concentração. Em escala piloto, com as corridas experimentais realizadas, uma análise global de transferência de massa e energia permitiria que se avaliasse a economia do sistema. Porém, devido a problemas operacionais, como título desconhecido do vapor, dificuldades e imprecisões em medidas de temperaturas e pesagens, teve-se de recorrer a dados consuetudinários.

Usando-se um evaporador triplo efeito, que foi escolhido para o estabelecimento do "process design", consegue-se evaporar aproximadamente 2 kg água com 1 kg de vapor.

Com esse vapor, que é um dado prático, já estabelecido, é possível o cálculo dos respectivos consumos, para que sejam atingidas as três concentrações de sólidos estudadas. Assim, considerando-se que se vai partir sempre de um suco a 10°Brix, e que o evaporador tem a capacidade de evaporar 2.250 kg/h água, chega-se as demandas energéticas mostradas na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Consumo de energia no processo de concentração

Brix inicial	Brix final	Consumo de vapor (kg/h)	Energia consumida (kcal/h)	Energia consumida (kcal/kg água)
10	69,5	1062	$5,7 \times 10^5$	270
10	53,5	1016	$5,5 \times 10^5$	270
10	43	963	$5,2 \times 10^5$	270

No primeiro efeito do evaporador, a pressão é atmosférica e assim o calor de vaporização é de 540 kcal/kg. Com esses dados, chega-se então ao consumo final de energia na etapa de concentração. A variação de intensidade energética de um caso para o outro não é considerável, sendo assim energeticamente mais compensador evaporar-se o suco até maiores concentrações, visto que estes sucos, como mostram as Tabelas 4.1., 4.2. e 4.3. conservam mais suas propriedades que os de baixa concentração.

Comparando-se esses consumos aos encontrados na etapa de prensagem, observa-se que para retirada das mesmas porcentagens de água, a concentração é energeticamente muito mais intensiva que a prensagem. Para a evaporação, quando se leva um suco de 10 até 43° Brix (o que equivale à retirada de 76% da água), a demanda de energia é de 270 kcal/kg de água, enquanto que para retirada de uma porcentagem semelhante (por exemplo: 71%), através de prensagem (energia mecânica), o consumo é de 0,20 kcal/kg de água.

O objetivo ao apresentar estes valores é simplesmente mostrar os diferentes consumos dos processos. Seria impossível substituir o processo de concentração pelo de prensagem, em virtude do tipo de material a que cada processamento se adequa.

Comparando-se o consumo do processo de concentração ao de secagem, chega-se à Tabela 4.5. Para os cálculos do consumo de energia por secagem, considerou-se que são necessários 2 kg de vapor por kg de água evaporada.

Tabela 4.5. Consumos do processo de concentração e de secagem

Concentração		Secagem	
% de água eliminada	Energia consumida (kcal/kg água)	% de água eliminada	Energia consumida (kcal/kg água)
95	270	95	1080
90	270	90	1080
85	270	85	1080

Os valores permitem ver que a secagem é energeticamente mais intensiva também em relação à concentração. Pode-se dizer que a concentração é um processo térmico de eliminação de água com um consumo energético relativamente baixo (tendo em conta que foi considerado o reaproveitamento do vapor).

4.5. CONCLUSÕES

Do desenvolvimento experimental realizado, é possível concluir-se que:

- (1) A atividade enzimática na cebola continua durante o processo de concentração, com geração de odor.
- (2) Esta geração exige que não se atinjam as temperaturas de inativação enzimática e é função da temperatura de operação sendo a de 60°C a que mostrou maior geração.
- (3) A relação entre odor nos produtos/odor no suco de expressão chegou até um valor da ordem de 2,3.

(4) A concentração de odor do suco concentrado se manteve inalterada durante o tempo avaliado (um mês), sendo que nos outros materiais a concentração, na maioria das vezes, sofreu redução.

5. SECAGEM

5.1. GENERALIDADES

A secagem de alimentos, com o objetivo de preservá-los durante a época de safra, para que possam ser consumidos fora de estação, é uma tecnologia muito antiga. Sua origem se perde na antiguidade, mas muitas dessas práticas milenares são aplicadas até hoje em alguns casos dos processos modernos de preservação de alimentos.

O uso de alimentos desidratados é bastante amplo. Sua produção incorre nas seguintes vantagens: (1) menores custos de transporte e estocagem; (2) ausência de custos de refrigeração quando comparados a alimentos congelados ou frescos; (3) vida de prateleira prolongada e (4) compatibilidade com outros ingredientes em misturas de alimentos desidratados.

Entre as eventuais desvantagens, cumpre citar: (1) altos custos unitários de processamento; (2) altos insumos energéticos; (3) qualidade pobre de textura e sabor em alguns alimentos (4) reconstituição insatisfatória.

Deve-se destacar que o termo secagem é usado tão indiscriminadamente, que é necessário que se faça alguma restrição quanto ao seu significado. Por exemplo, um sólido úmido como madeira, pano ou papel pode ser seco por evaporação de umidade no ar ambiente, mas a remoção mecânica de umidade por prensagem ou centrifugação não será considerada no presente trabalho como secagem.

Assim utilizar-se-á o termo secagem direta como se referindo à remoção de umidade quando se tem uma corrente de ar, normalmente quente, que retira e arrasta essa umidade. Também se tem a secagem indireta, realizada através de superfícies em contato com vapor condensante.

Ao se escolher o método de secagem mais indicado para um alimento específico são ponderadas as características físicas da matéria prima, os fatores econômicos e os requisitos de qualidade, considerando a quantidade de material a ser seco. Essa última característica, junto com as físicas exigidas, é determinada pelo uso do produto.

A desidratação é um método de eliminação de água energeticamente intenso. Há uma grande necessidade de vapor para retirada de 1 kg de água, comparativamente a outros métodos de remoção de água utilizados. Porém, para produtos sólidos é o mais apropriado. Assim, ao se optar por um método de secagem, o aspecto econômico deve ser amplamente ponderado, tanto nos custos fixos quanto nos variáveis.

O equipamento usado para secagem pode ser classificado de acordo com qualquer das seguintes categorias:

(1) Método de operação, isto é, batelada ou contínuo. O equipamento a batelada ou semi batelada é operado intermitentemente ou ciclicamente sob condições não em regime; o secador é carregado com o material que ali permanece até estar seco, quando então é esvaziado e recarregado com nova carga. Secadores contínuos são usualmente operados em regime; o processo contínuo só se justifica para grandes quantidades.

O processo a bateladas é normalmente empregado para quantidades não muito grandes de material e/ou para tempos de residência longos. Processos com tempos de residência altos permitem o uso de temperaturas mais baixas. É usado ainda quando os processos contínuos não se encontram desenvolvidos e quando é desejável a possibilidade de diversificação da produção, visto ser mais versátil

e adaptável que o contínuo.

(2) Método de suprimento do calor necessário para evaporação da umidade. Em secadores diretos, o calor é suprido inteiramente por contato direto com o material a ser seco e o gás quente, no qual ocorre a evaporação. Em secadores indiretos o calor é suprido independentemente do gás, que é usado para transportar a umidade vaporizada. Por exemplo, o calor pode ser fornecido através da parte metálica em contato com a substância ou menos frequentemente por exposição do material à radiação infravermelha ou aquecimento dielétrico.

(3) Natureza do material a ser seco: a substância pode ser um sólido rígido como madeira ou cerâmica, material flexível como pano ou papel, sólido granular como massa de cristais, pasta espessa, lama fina ou solução.

5.2. ASPECTOS FUNDAMENTAIS

Sólidos que apresentam espaços abertos relativamente largos tem movimentação de umidade por tensão superficial e forças gravitacionais. Já os sólidos de estrutura fibrosa ou amorfa tem o líquido se movimentando por difusão. Como normalmente as taxas difusionais são menores que o fluxo por capilaridade, materiais que tem o mecanismo de difusão controlando a perda de umidade secam mais lentamente (FOUST, Cap. 18, 1960). No início da secagem, a água é removida duma superfície saturada e a taxa de secagem nesse período é constante, independente do conteúdo de umidade; normalmente, para sólidos fibrosos esse período é curto.

Tradicionalmente tem se aceito que as curvas de secagem se dividem em duas seções. A primeira, já referida, é uma reta num

gráfico R (taxa de secagem) vs umidade, caracterizada por uma taxa constante. A segunda apresenta uma taxa decrescente, cuja primeira parte se aproxima muito de uma reta, mas que mostra pontos de inflexão e a umidades muito baixas se transforma em curvas, associando-se esses pontos a mudanças na difusividade efetiva (SUZUKI et alii, 1977) ou ainda ao mecanismo de movimentação de água (HARMATHY, 1969). Estes intervalos de umidade são chamados de "período de velocidade constante" e "período de velocidade decrescente" num processo de secagem. O conteúdo de umidade do material no ponto de transição entre os dois períodos chama-se "umidade crítica".

Textos elementares e pesquisadores tradicionais consideram a umidade crítica uma propriedade específica e definida do material, como se fosse uma constante físico-química (BROUGHTON, 1945). Deve-se assinalar que nem todos os pesquisadores foram tão categóricos. Assim, já SHERWOOD e GILLILAND (1933) preferem manter uma definição fenomenológica, sem se comprometer a chamá-la de constante.

As longas pesquisas de KIRKWOOD e MITCHELL (1965), que usaram um secador de bandejas, permitiram concluir através de pormenorizada análise estatística, que a umidade crítica era função da carga de bandejas e do fluxo do ar. A inconstância dos valores de umidade crítica foi considerada em suas correlações de tempo de secagem.

WISNIAK et alii (1967) estudaram a secagem de areia em bandejas e confirmaram que o valor da umidade crítica não é constante, mas sim função das condições de secagem.

Estudos mais básicos vão confirmando que na secagem difusional, a difusividade efetiva da água mostra uma dependência forte da própria umidade do material (ENDO et alii, 1977).

MARSHALL (1959) diz que a classificação de secagem como operação unitária é inapropriada. Isto porque para que haja secagem há

necessidade de transferência de calor, de quantidade de movimento, e dinâmica de partículas, transporte de materiais, umidificação e desumidificação. Deve então ser classificada numa categoria geral de "processos de separação", onde um líquido é separado do sólido por uma mudança de fase, sem que haja mudança química do sólido.

Em resumo, a desidratação ou secagem, inclusive de alimentos, constitui um assunto que se pode dizer razoavelmente explorado, porém nenhuma informação bibliográfica sobre secagem de bagaço de cebola foi conseguida. Parece mesmo que não há antecedentes nesse sentido (FSTA, Vol. 1 até 15).

5.3. TIPOS CONVENCIONAIS DE SECADORES DE CEBOLA

Geralmente, as operações de secagem a bateladas se desenvolvem em alguns tipos convencionais de secadores, como os de bandeja, o de túnel, o secador de carrinho. Os secadores de gabinete são usados para a secagem de sólidos que podem ser acondicionados em bandejas. Consistem de uma cabine contendo bandejas removíveis, nas quais são depositados sólidos. Depois de carregada, a cabine é fechada e ar aquecido é insuflado entre as bandejas e através delas (caso sejam perfuradas), para a evaporação de umidade. Quando o sólido chega à umidade desejada, é retirado e coloca-se nova carga. Uma modificação simples e muito prática é o secador de túnel, onde as bandejas são colocadas em carros que podem ser movimentados dentro e fora da cabine. Como esses carros podem ser carregados e descarregados fora do secador, pode-se fazer uma apreciável economia de tempo nos ciclos de secagem.

Quando o secador é longo, o ar pode deixá-lo totalmente saturado. Em tais casos, a secagem efetiva ocorre apenas em parte do secador e a evaporação da umidade ligada apenas em uma faixa estreita

ta. Assim, é importante eliminar bolsas de ar estanques e manter ar com umidade e temperatura razoavelmente uniformes através do secador. Para isto, há necessidade de grande volume de ar, com velocidade variando de 3 a 6 m/s (10 a 20 pé/s) e passando só uma vez no secador. As perdas de energia (ou calor) nesse ar são proibitivas, em virtude do seu alto custo. Por isso, é prática admitir apenas pequenas quantidades de ar fresco e recircular a maior parte, que muitas vezes é de 80 a 90% (TREYBAL, cap. 12, 1955).

Dependendo do tipo de sólido que está sendo seco, há uma limitação na velocidade empregada, pois o ar pode arrastar partículas de sólido.

HOUGEN (1934) ao realizar um abrangente estudo sobre secagem de couro e recirculação de ar, chegou à conclusão de que esta última é obrigatória. O interessante é notar que num trabalho tão antigo, em época em que a crise de petróleo nem era uma remota possibilidade, já se tenha chegado à essa conclusão.

RAMAGE e RASMUSSEN (1943), ao avaliarem a desidratação de vegetais, afirmam contudo que o reaproveitamento do ar de secagem é dispensável e pouco econômico.

Resumindo, os gastos em energia térmica (combustíveis) con- figuram um importante custo operacional.

5.4. EQUIPAMENTOS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

O desenvolvimento experimental da etapa de secagem foi realizado em secador de bandejas, de escala piloto, construído por pesquisadores do departamento. (RELATÓRIO FIPEC, outubro 1982 a janeiro 1983). Foi escolhido este tipo de secador por ser um modelo bastante simples, de fácil adaptação e muito aplicado na secagem comercial de

vegetais. Normalmente a secagem de cebolas em escala industrial é feita nesses secadores ou nos de túnel, que são baseados nos mesmos princípios operacionais.

Quanto ao bagaço de cebola, já foi comentado, não foram encontradas informações, o que justifica fortemente o emprego de secadores bem conhecidos. Ambos os secadores experimentais apresentavam um corpo vertical, contendo 4 bandejas sobrepostas, com medidas de 0,12 x 0,12 x 0,10m e área de secagem de 0,0144 m². Um único ventilador centrífugo fornecia ar ao equipamento e um aquecedor elétrico estava acoplado à cada unidade, para permitir variação da temperatura. A velocidade do ar era medida através de placa de orifício calibrada com anemômetro, para que fosse possível regular o fluxo de ar às vazões pré-estabelecidas.

As temperaturas de operação foram medidas através de termômetros de mercúrio calibrados, acoplados ao sistema. A temperatura de bulbo úmido foi obtida cobrindo-se o bulbo do termômetro com algodão imerso em água.

As bandejas foram construídas com chapas de alumínio e telas perfuradas do mesmo material. Eram encaixadas no secador como gavetas e fechadas para o ambiente através de portas, do mesmo material de construção do equipamento, que é madeira. Essas portas eram presas com tiras largas de borracha, facilmente removíveis, para que se dispendesse pouco tempo na operação de pesagem.

Submeteu-se à secagem, a polpa ou bagaço de cebola, um dos produtos da prensagem de cebola triturada. Tratava-se de um material compacto, fibroso, aparentemente uniforme, que era desagregado manualmente para efetuar a carga das bandejas.

É importante, para garantir a economia do processo de secagem e a qualidade do produto final, que as cebolas utilizadas apre-

sentem um teor de sólidos alto, visto que isso implica em menor quantidade de água a evaporar e em um maior rendimento em produto seco. Nem sempre porém, na condução dos trabalhos experimentais, conseguiu-se manter homogeneidade no teor de sólidos da matéria prima empregada.

A carga de bagaço das bandejas, por ser leve, era protegida com telas de material plástico, com áreas praticamente iguais às das bandejas, para que se encaixassem perfeitamente nas mesmas, impedindo que o material fosse arrastado pelo ar de secagem (verificou-se em algumas experiências em que tais cuidados não foram tomados, que mesmo com baixas velocidades de ar, havia arraste).

O bagaço, antes da execução de cada corrida, tinha sua umidade determinada através de secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60°C, até peso constante. Isso levava um período de aproximadamente 24 horas.

Nos experimentos realizados, a concentração inicial em sólidos totais do bagaço variou de 13 a 17%, significando uma redução da ordem de até 500% da umidade base seca, através da prensagem.

Em cada ensaio, antes de se carregar o secador, deixava-se circular o ar na temperatura de trabalho para que se chegasse a um estado estacionário. Isso demorava cerca de 30 minutos. As bandejas, já cheias, eram então colocadas no secador e iniciava-se a operação.

No início da experiência, com carga nova em todas as bandejas, ocorria uma diminuição da vazão e da temperatura ao longo do secador. A vazão era prontamente corrigida, mas a temperatura era mantida assim. Sua queda ocorria em virtude do fenômeno de saturação adiabática do ar e com o tempo, voltava a aumentar.

Como o bagaço registrava uma perda inicial considerável de

unidade, as pesagens para levantamento das curvas de secagem eram feitas de 10 em 10 minutos, sem se desligar o equipamento. A partir da primeira hora, com a diminuição da taxa de perda de água, passava-se para intervalos de 20 minutos. O tempo gasto para retirada, pesagem e recolocação das 4 bandejas, constituintes do secador, era de aproximadamente 2 minutos.

Foram medidas e controladas, durante a operação, as temperaturas de bulbo seco e úmido do ar de saída, para que se tivesse, através do diagrama psicrométrico, a variação da umidade relativa do ar.

Para que todas as bandejas ficassem sujeitas às mesmas condições, elas eram remanejadas de 20 em 20 minutos, para a posição imediatamente inferior, onde recebiam ar mais seco. Só eram retiradas do secador quando atingiam umidade final de cerca de 8% (ISO, 1981).

Foi feito um único ensaio, mantendo-se as bandejas na mesma posição, o que se revelou inviável. A defasagem entre o tempo de secagem do material das diferentes bandejas era grande, sendo que na primeira delas, que ficava em contato com o ar mais seco, o produto final apresentava coloração escura e cheiro de queimado.

Ao final de cada experiência, eram determinadas as umidades finais do bagaço seco, para cada uma das bandejas. Duas ou mais amostras, de aproximadamente 3 gramas, eram acondicionadas em placas de petri e a seguir colocadas em um estufa a 60°C, até atingir peso constante. O método era o mesmo que o realizado com a matéria prima e o bagaço úmido.

5.5. EFEITO DAS DIFERENTES VARIÁVEIS NA SECAGEM DO BAGAÇO OU POLPA DE CEBOLA

5.5.1. Experiências exploratórias

As primeiras corridas realizadas com esse material foram necessariamente exploratórias, dada a total ausência de informações sobre o mesmo. Buscou-se tirar o maior número possível de informações, dentro do espectro de variáveis que se pretendia analisar. Assim, a primeira temperatura testada, de 45°C, normalmente pouco usada em secagem de vegetais com ar quente, por ser muito baixa, foi empregada, pois pensava-se que o bagaço, por ser muito fragmentado, podia queimar-se a temperaturas maiores. Verificou-se que a taxa de secagem era muito baixa, chegando as últimas bandejas a não mudarem de peso.

De posse dessa avaliação preliminar resolveu-se operar a temperaturas maiores, visando a evitar essa situação. Resultados obtidos a 45°C são, no entanto, apresentados, para que as experiências possam ser analisadas.

No primeiro ensaio exploratório, viu-se também que o material a ser seco era, em algumas partes, muito leve e de tamanho não uniforme. A velocidade do ar de secagem usada foi de aproximadamente 1 m/s, que em secagem industrial é considerada uma velocidade apta, mas ainda assim houve arraste do material. Para que a secagem pudesse continuar a ser realizada em secadores de bandeja, decidiu-se que a melhor forma de resolver esse problema era através do encaixe de telas de material plástico, de malha fina, que barrariam o arraste do material mais leve.

O efeito da variação de carga também foi analisado, mas nas corridas exploratórias pouco se conseguiu esclarecer. A carga inicial empregada foi de 5 kg/m². A compactação do material, mesmo com

o uso de valores baixos de carga representava sempre uma barreira à remoção de umidade.

Foram esses os parâmetros básicos avaliados, que se determinou terem influência na velocidade de secagem. Da experimentação inicial, concluiu-se que:

(1) temperaturas maiores que 45°C deveriam ser usadas. A temperatura menor ou igual a 45°C não ocorreu secagem efetiva.

(2) como o material submetido à secagem é leve, a qualquer velocidade do ar que se empregue, cuidados adicionais devem ser tomados para que não haja arraste.

(3) a carga de material e a variação da mesma devem ser pequenas, comparadas a dados bibliográficos para cebola em fatias, para que se evite compactação do leito e barreira à transferência de calor por convecção e remoção da umidade.

5.5.2. Efeito da variação de temperatura na velocidade de secagem do bagaço ou polpa de cebola

Um aumento da temperatura do ar de secagem resultaria em um aumento da taxa de secagem, com conseqüente redução do tempo de operação. O lógico seria então, que se procurasse sempre trabalhar a temperaturas altas, para que houvesse menor demanda de tempo e aumento de produção.

Na prática, porém, as soluções nem sempre são tão simples. Ao se trabalhar com materiais celulares, com propriedades aromáticas, como é o caso do bagaço da cebola, os cuidados devem ser maiores. Altas temperaturas, além de acelerarem as perdas de voláteis, podem ocasionar queima do material celular, tornando-o inaproveitável para o seu fim principal, que é o de ser usado em alimentos.

Dessa forma, a primeira opção foi a de se usar baixas temperaturas de secagem. A de 45°C não mostrou ser um valor eficiente de trabalho.

É o que se pode observar na Figura 5.1., que mostra o efeito de uma variação simultânea de carga e de temperatura. Observando-se as curvas de 45°C e 55°C, com uma carga de material de 5 kg/m², verifica-se que essa diferença de 10°C nas temperaturas de secagem revela-se significativa, mesmo para pequenas cargas (como é esse caso). Além disso, vê-se que para cargas maiores, como a de 10 kg/m², o aumento de 10°C na temperatura de secagem é muito importante. A curva característica 5 (45°C - 10 kg/m²) mostra um tempo de duração de secagem, que é praticamente o dobro de tempo do outro processo aí graficado (curva 2 - 55°C - 10 kg/m²).

É possível ainda se notar um acontecimento significativo: a curva 2 (55°C, 10 kg/m²), embora no início apresente uma perda de umidade mais lenta que a 3 (45°C, 5 kg/m²), na metade da operação, cruza-se com esta última e mostra uma perda de umidade mais rápida, chegando a um teor final menor em menos tempo.

Parece, a princípio, que a influência da temperatura na velocidade de secagem é muito maior que a da variação de carga, nas faixas analisadas.

Excluída então a temperatura de 45°C pela sua ineficácia, passou-se a explorar uma faixa mais ampla de temperaturas. Como 55°C revelou-se uma temperatura eficiente, resultando em um bom produto final, continuou-se a aplicá-la. Mas foram testadas também as temperaturas de 60°C e 70°C. Pela Figura 5.2., pode-se atestar que o tempo de secagem com ambas as temperaturas ficou bastante reduzido, se comparado ao que foi necessário na secagem a 55°C. É conveniente

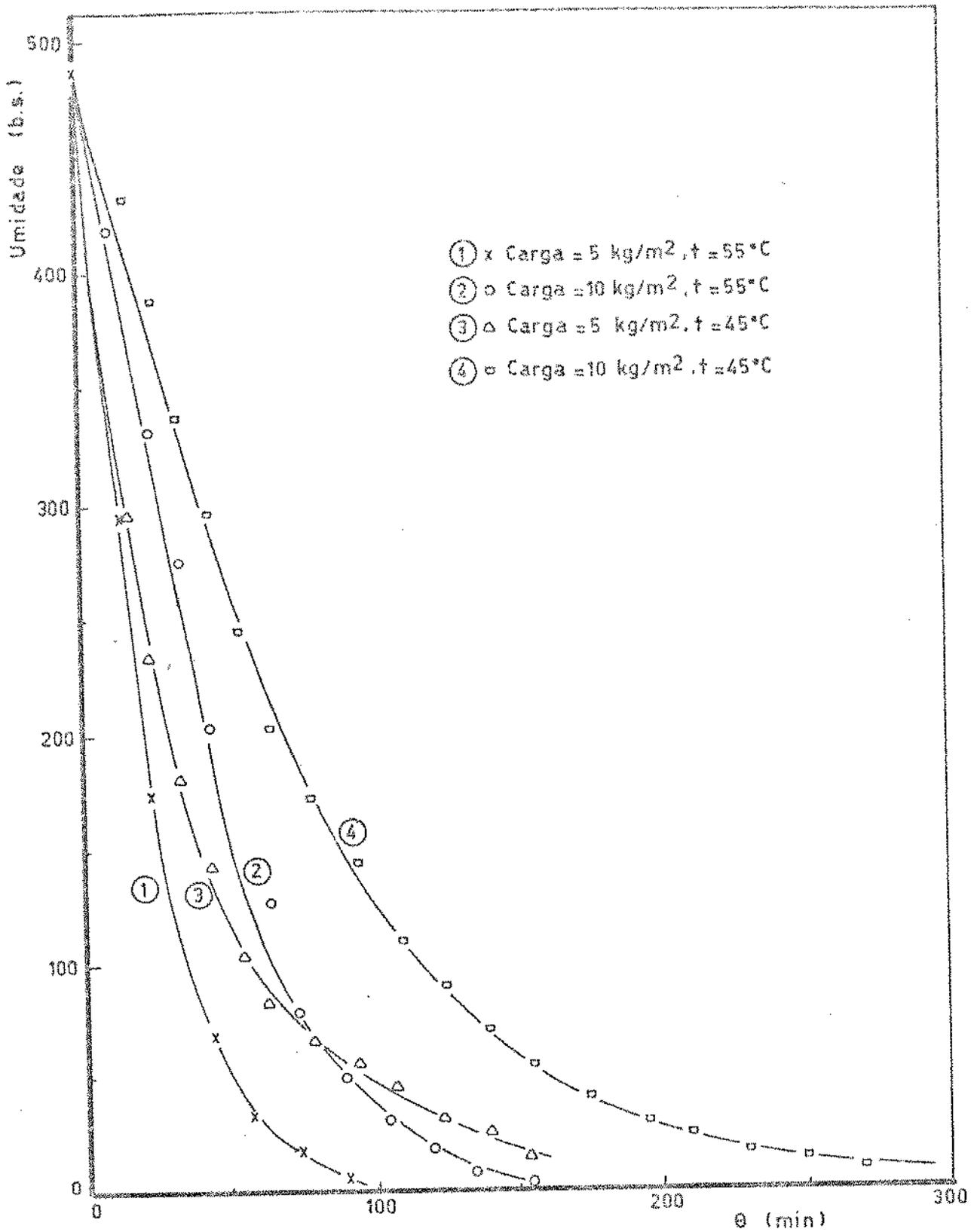


Figura 5.1. Efeito da variação de temperatura e variação da carga na secagem do bagaço de cebola

Obs: As figuras, com exceção das que apresentam indicação em contrário, referem-se sempre à primeira bandeja do secador.

ente notar que as secagens a 60 e 70°C se realizaram com material mais úmido que a secagem a 55°C (1). A carga, nesses três casos, foi sempre de 10 kg/m². Porém, essas duas temperaturas ocasionaram degradação do material. A 70°C a perda foi total; o material ficou com aspecto e cheiro de queimado, a cor característica foi perdida, passando o produto de amarelo claro para marrom escuro e através de observações sensoriais periódicas, em menos de 1 mês, o bagaço seco apresentou-se deteriorado. A 60°C, os resultados foram um pouco melhores e embora grande parte dos voláteis tenha sido perdida, a cor característica foi mantida. Ocorreu que, durante a estocagem, a mudança de cor do produto seco foi muito rápida, adquirindo também com o tempo, um aspecto de tostado.

Dessa maneira, essas duas temperaturas, por resultarem em produtos finais de baixo valor comercial tiveram de ser descartadas, apesar de levarem a um tempo mais curto de processo.

Como a faixa de temperaturas testadas tornou-se mais ampla, procurou-se então operar o secador a uma condição de temperatura ótima. Foi assim que se trabalhou nos primeiros 40 minutos a 70°C e o resto da operação foi desenvolvido a uma temperatura de 55°C. Tal procedimento mostrou-se eficiente, visto que no início, quando a umidade é maior e do tipo não ligada, usa-se a temperatura mais alta, que neste caso só faz acelerar a remoção de água, sem aumentar a temperatura do produto. Em curto tempo, a umidade não ligada é evaporada e passa-se a ter apenas umidade ligada, de remoção mais difícil e que torna também o material mais sensível a temperaturas altas. Dadas essas condições, usa-se uma temperatura mais baixa, o que assegura a estabilidade e qualidade do produto.

As curvas 2, 3 e 4 dessa figura encontram-se deslocadas para a esquerda, para que todas as curvas possam ser avaliadas a par-

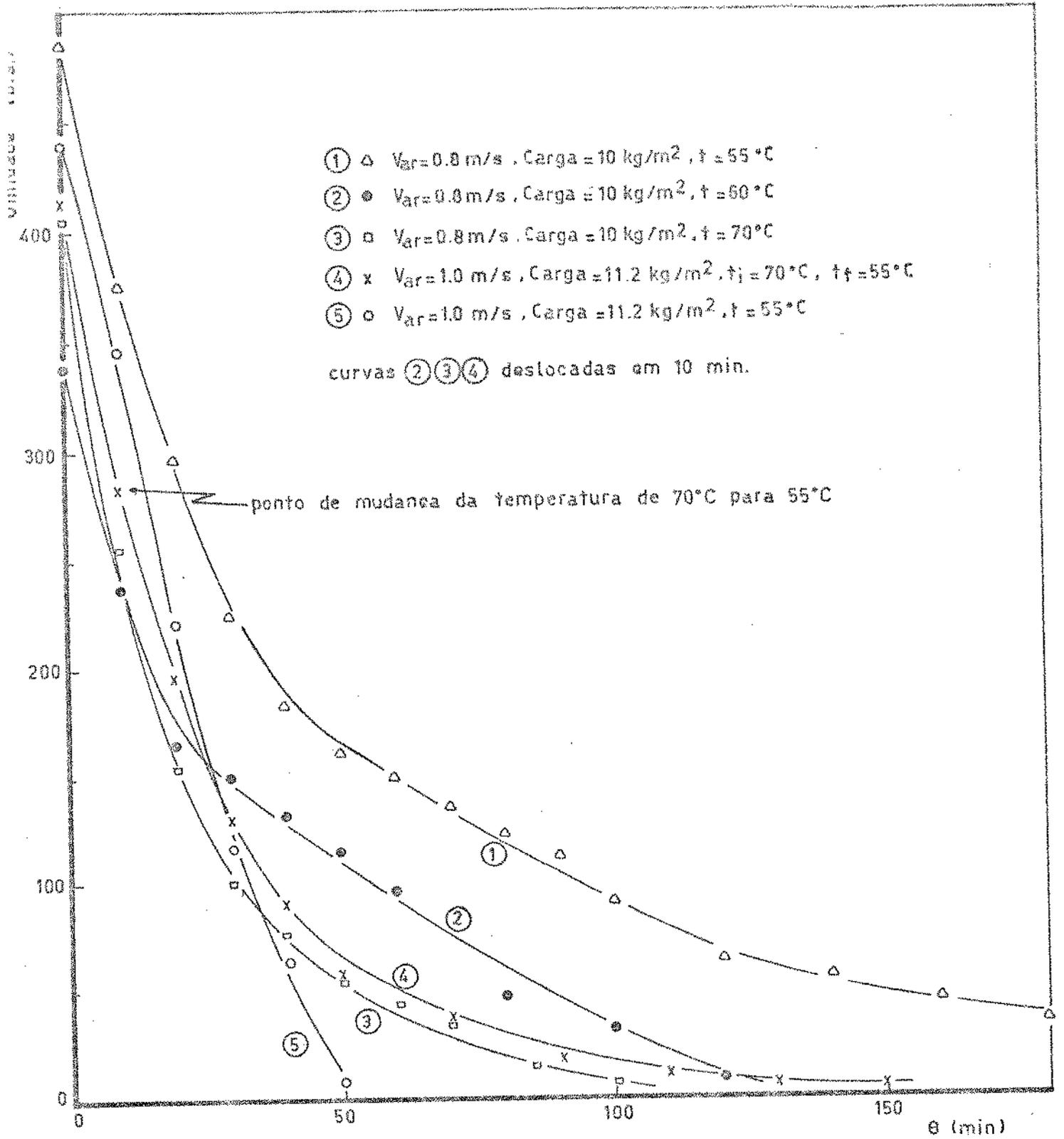


Figura 5.2. Efeito da variação de temperatura na secagem do bagaço

tir da mesma umidade inicial.

Essa variação apresentada acima já havia sido testada com sucesso por CANNON (1975), em trabalho desenvolvido em secador de leite fluidizado centrífugo. Na entrada do secador a temperatura era consideravelmente mais alta que na saída. As condições eram um pouco diferentes das desse trabalho, porém a finalidade era a mesma.

Essas pareceram ser condições muito favoráveis (com relação à temperatura) de secagem do bagaço em termos de qualidade do produto e de taxa de secagem. A Figura 5.3. mostra as curvas obtidas nessa situação e o que se constata é que a umidades iniciais baixas, ocorre uma deformação no perfil característico da curva. A queda para uma umidade mais baixa é muito brusca. Os perfis característicos para se chegar ao teor final pré-estabelecido são sempre semelhantes ao mostrado pela curva 1 (carga $11,2 \text{ kg/m}^2$, umidade base seca inicial: 678%). As curvas 2 e 3 foram obtidas com o mesmo material, correspondem respectivamente, à posição 1 e posição 4 das bandejas no secador. É interessante notar a semelhança das curvas: a da bandeja 4 é apenas um pouco atrasada em relação à bandeja 1, por receber ar mais saturado.

5.5.3. Efeito da variação da velocidade do ar na velocidade de secagem do bagaço ou polpa de cebola

A variação da velocidade do ar de secagem, teoricamente, teria forte influência na cinética de secagem do bagaço, durante o período de velocidade constante; ultrapassando um certo mínimo essa influência seria nula no período de velocidade decrescente. Velocidades altas implicariam em aumentos na taxa de secagem até a umidade crítica, resultando em tempos menores de processo.

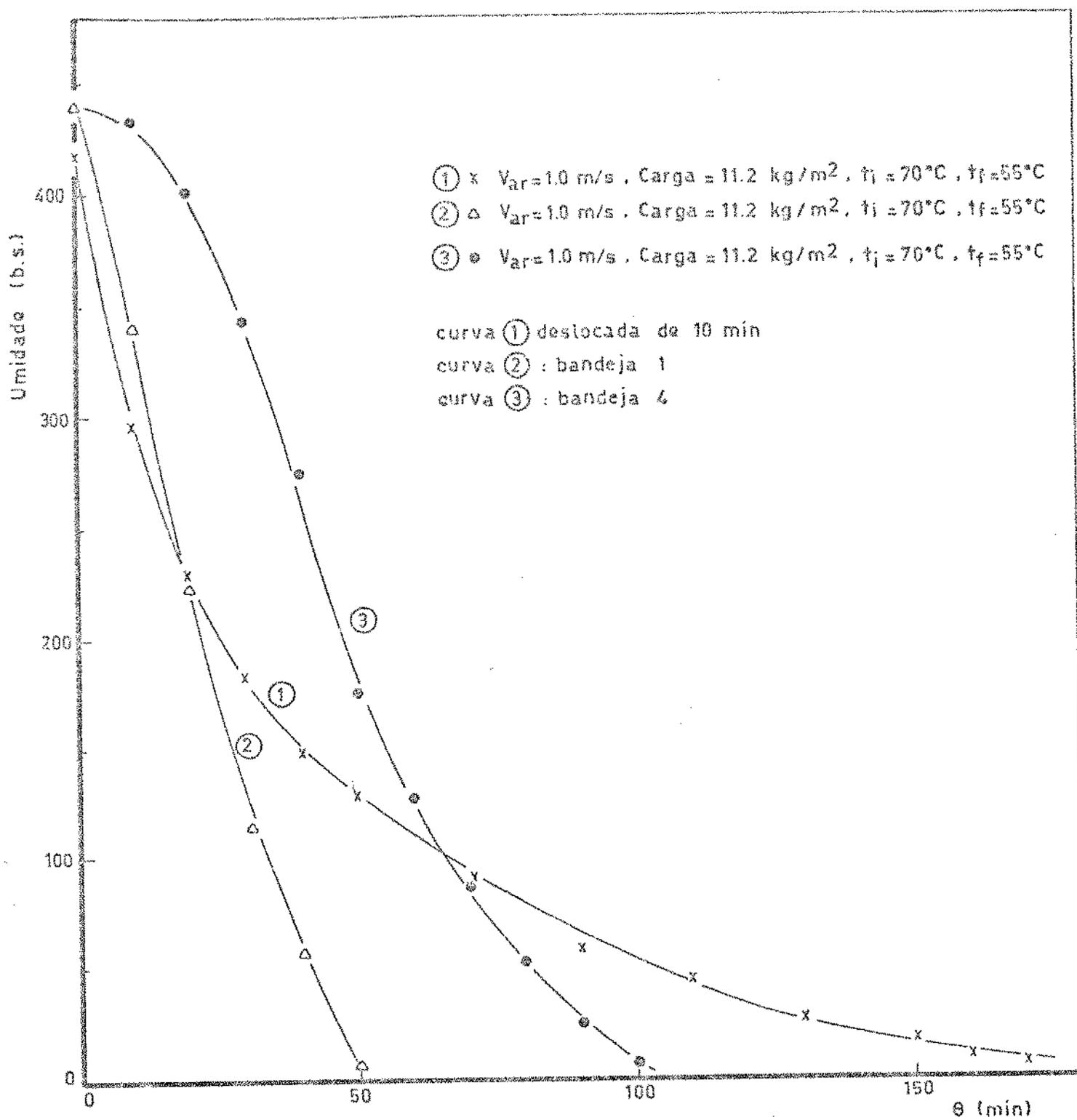


Figura 5.3. Efeito da variação da umidade inicial do bagaço na secagem

CANNON (1975), em um artigo já mencionado sobre secagem de vegetais em secador de leite fluidizado centrífugo, diz que nesses secadores foram empregadas velocidades 10 a 20 vezes mais altas que as usuais, resultando no máximo aproveitamento do efeito da velocidade do ar na taxa de secagem, que ocorre no período de velocidade constante. A princípio seria cientificamente positivo tentar-se amplas faixas de variação de velocidade, para que se obtivesse um perfil abrangente e conclusões mais gerais. Porém, as características do material estudado não permitiram que se pudesse desenvolver uma avaliação ampla.

Segundo KEY (Cap. 12, 1972), a velocidade através do leite, em secadores de bandejas, é da ordem de 0,6 a 1 m/s. No presente trabalho, teve-se a valores de 0,8 a 1,2 m/s, que se encontram dentro da faixa empregada em escala industrial. Pode-se constatar, para qualquer carga de produto, que a velocidade de 0,8 m/s, apesar de ter sido bastante empregada, é insuficiente, levando a tempos de secagem longos. O outro valor extremo resulta em tempos curtos e conseqüentemente processos mais econômicos e à primeira instância, é um valor aplicável.

Porém, o bagaço é um material heterogêneo e apresenta uma pequena porcentagem de finos. Os mesmos a velocidades dessa ordem (1,2 m/s), ainda com o uso de malhas de proteção, foram arrastados com o ar, principalmente perto do final da secagem, causando a obtenção de perfis de secagem pouco representativos e pouco confiáveis.

Assim, dentro da pequena faixa de velocidades pesquisada, tem-se que a velocidade mais adequada, pelo menos para esse material é a de 1,0 m/s, valor intermediário entre os testados inicialmente.

Através das Figuras 5.4. e 5.5. é possível se fazer uma aná-

lise gráfica das experiências. Na Figura 5.4., a curva correspondente à velocidade de 0,8 m/s, mostra que aos 180 minutos, o bagaço ainda se encontrava a uma umidade alta, de cerca de 30% (base seca). Nos outros dois casos, (1,0 e 1,2 m/s) o valor pré-estabelecido (8%) de umidade foi atingido antes de/ou nesse tempo. O gráfico permite ainda avaliar a influência da porcentagem inicial de água na matéria prima.

É o caso das curvas de 1,0 m/s (curvas 2 e 3) de velocidade; porém como a diferença de umidade inicial é pequena, no final da operação ocorre uma sobreposição das mesmas, refletindo pouca influência da umidade inicial.

Na análise da curva de 1,2 m/s, os resultados mudam. Apesar da umidade inicial ser bastante elevada em comparação às demais, o uso de uma velocidade mais alta acaba levando a uma taxa de secagem maior e a umidade final acaba sendo atingida um pouco antes que a dos outros casos de umidade inicial menor. Essa conclusão mostra a eficiência de velocidades maiores e economia de energia térmica que seu uso oferece. Infelizmente, nesse caso particular, seu emprego passou a ser inviável, devido ao arraste dos finos.

A Figura 5.4.A. refere-se aos mesmos experimentos, porém apresenta a curva 4 deslocada em 32 minutos, com o objetivo de se poder avaliar todas as curvas a partir da mesma umidade inicial.

Outros resultados do efeito da velocidade do ar são mostrados na Figura 5.5. Nesse caso, a carga das bandejas é maior que as apresentadas na Figura anterior e o processo foi realizado com apenas duas velocidades viáveis. Com o uso da velocidade maior e um material de maior umidade inicial, chega-se à umidade final num tempo de operação muito mais baixo, de aproximadamente 2 horas e 50 min. Já com o uso da velocidade de 0,8 m/s, o tempo de secagem se alonga

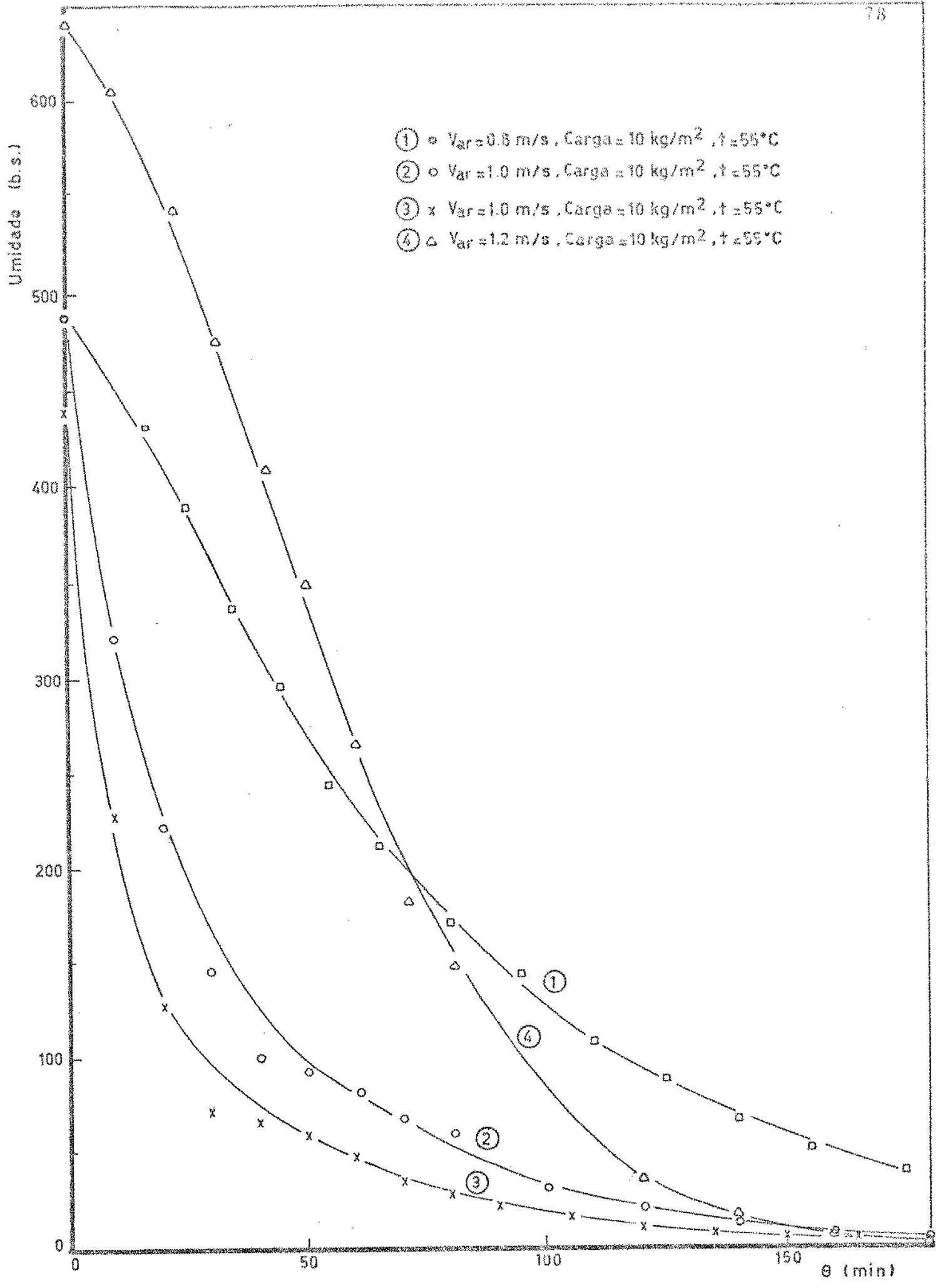


Figura 5.4. Efeito da variação da velocidade do ar na secagem do bagoço de cebola

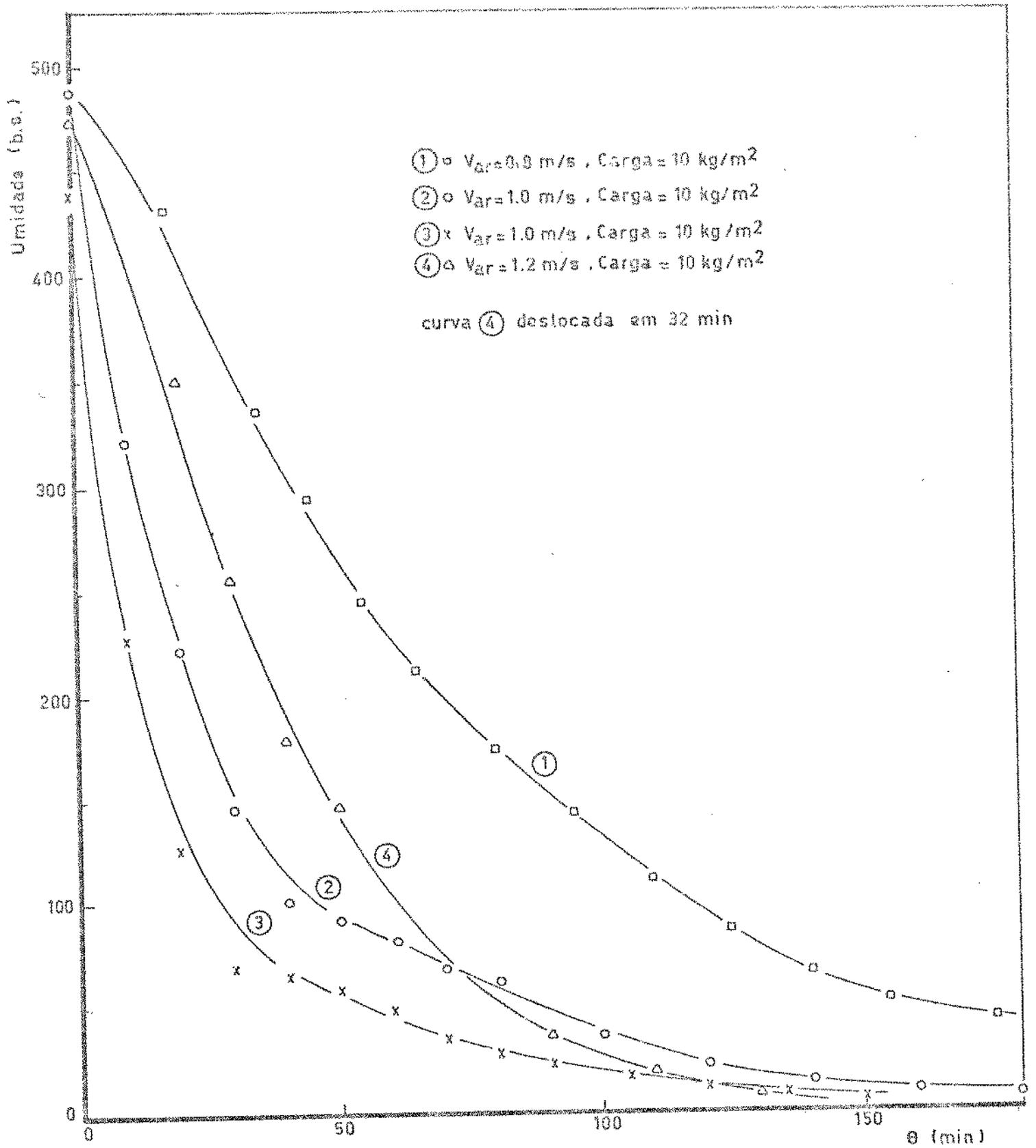


Figura 5.4.A. Efeito da variação da velocidade do ar na secagem de bagaço de cebola

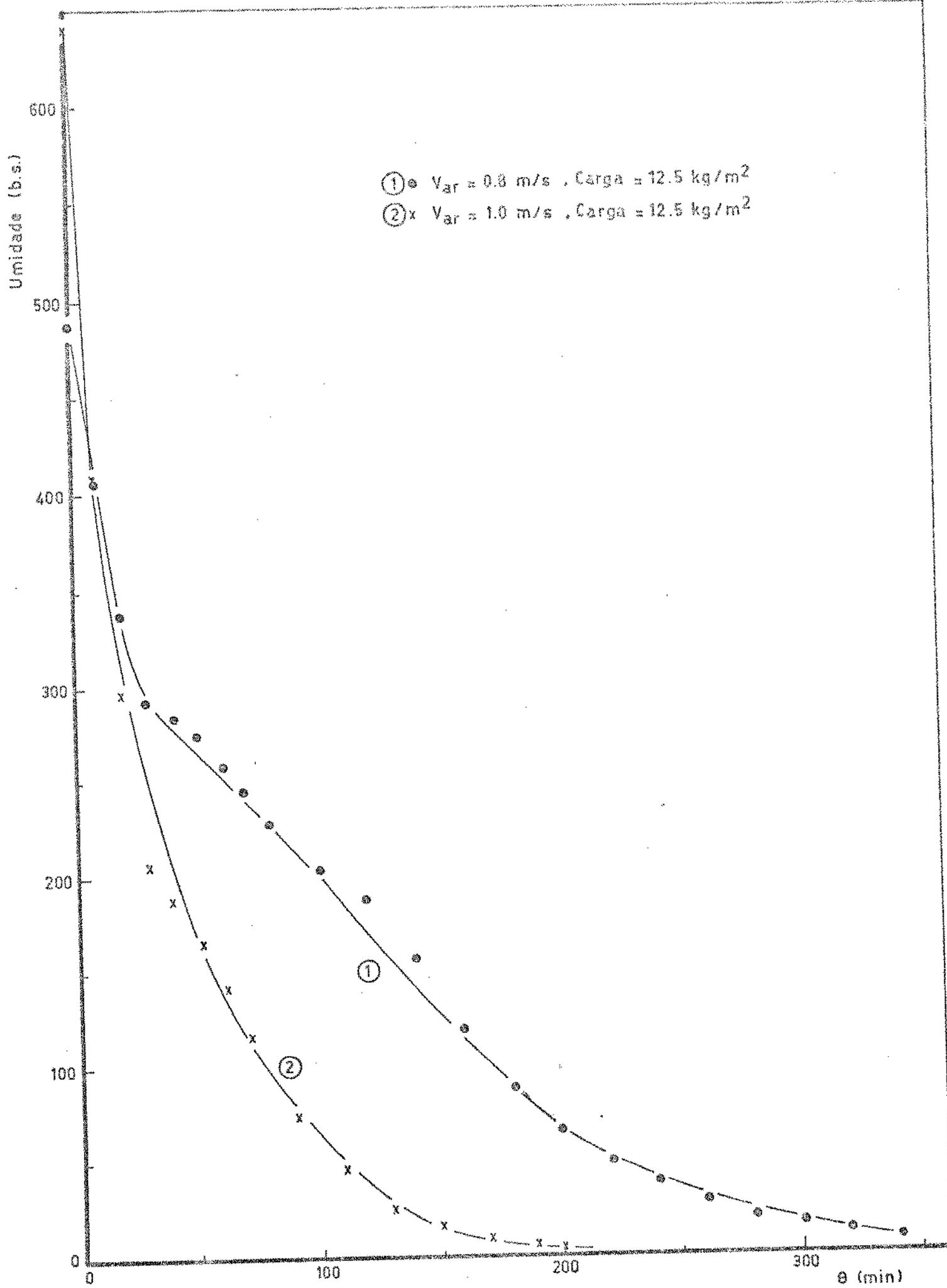


Figura 5.5. Efeito da variação da velocidade do ar na secagem do bagaço

para cerca de 6 horas, que é um tempo muito longo e antieconômico de processo. Segundo a bibliografia disponível, MAZZA e LEMAGUER (1980), apresentam essa duração (6 horas) como viável num processo de secagem de fatias de cebola. Para o bagaço ou polpa, um tempo de processo tão alto é inaceitável, visto ter havido uma retirada prévia de umidade.

Considerou-se assim, como mais adequada a velocidade de 1,0 m/s para secagem do bagaço de cebola. O grande problema com relação à desidratação desse material específico é a faixa restrita de velocidade permitida. Talvez em trabalhos posteriores com bagaço de cebola seja conveniente se estudar um maior espectro de velocidades. Julgou-se nessa pesquisa, que valores intermediários aos aplicados não levariam a diferenças significativas nem a resultados inesperados.

5.5.4. Efeito da variação de carga na velocidade de secagem do bagaço ou polpa de cebola

O estudo da variação de carga é de extrema importância na caracterização de um processo de secagem, principalmente quando se trabalha com materiais ainda não estudados. Ademais, sua incidência nos custos fixos é considerável.

GOWDA et alii (1976) fizeram uma pesquisa sobre secagem de cebolas, tratando-as com solução de sal a 5% e depois submetendo-as à desidratação a temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C e cargas de 5, 10, 20 e 30 kg/m². Resultados satisfatórios foram obtidos com temperaturas de 60°C e carga de 30 kg/m².

Considerou-se porém, uma carga muito elevada para um material tão compacto, como é o caso da polpa de cebola resultante da prensagem. Com base nessa colocação, definiu-se como carga inicial

para as corridas preliminares a de 5 kg/m^2 , correspondente a uma redução de $1/6$ da carga aconselhável pela literatura para cebola em fatias. Ainda nos ensaios definitivos foi utilizada essa carga de bandeja e os resultados encontram-se na Figura 5.1., que mostra o efeito da temperatura e carga na secagem.

Constata-se que a carga de 5 kg/m^2 de material exige um tempo de secagem razoavelmente pequeno. O dobro de carga contudo, não exige o dobro de tempo, atingindo a umidade final em um tempo proporcionalmente menor que o da carga de 5 kg/m^2 . Resulta então, economicamente mais viável o uso do dobro de carga, com base no período de processo envolvido. Na mesma figura é apresentada idêntica condição de variação de carga, usando-se, porém a temperatura teste de 45°C . A essa temperatura é indiferente o valor da carga; seja de 5 ou 10 Kg/m^2 o tempo gasto, proporcionalmente, é o mesmo. Portanto, temperaturas de secagem muito baixas e inadequadas anularam o efeito positivo que o aumento de carga apresentou.

Na Figura 5.6., outros casos de variação de carga são mostrados. Usando-se uma velocidade do ar de $1,0 \text{ m/s}$ foram testadas cargas de $10,0$, $11,2$ e $12,5 \text{ kg/m}^2$, faixa que as experiências exploratórias demonstrou como fatível.

As curvas relativas às duas primeiras cargas encontram-se defasadas no período de velocidade constante; já no primeiro período de velocidade decrescente ficam bastante próximas e atingem o teor final de umidade praticamente no mesmo tempo (cerca de 2 h e 40 minutos).

Cargas maiores exigem maiores tempos de residência no secador, mas ainda assim não foram obtidos tempos muito elevados, pois foram necessárias 3 horas para se chegar a 6% de umidade. A maior carga empregada apresentou no início da secagem um comportamento de

perda de umidade bastante similar às outras duas; no final, porém, quando o mecanismo de difusividade passou a controlar a velocidade de secagem, a taxa diminuiu, levando a esses resultados já analisados.

Esse gráfico permite ainda que se compare o comportamento das cargas de $10,0 \text{ kg/m}^2$, quando submetidas a diferentes velocidades do ar. É de se notar que essas cargas tem aproximadamente o mesmo tempo de processo.

Comprova-se pelo gráfico (Figura 5.6.) que a velocidade do ar, ocasionando uma diferença considerável dos perfis no período de velocidade constante, torna-se muito menos importante com a diminuição da taxa de secagem; isto resulta em sobreposição das curvas.

Quanto à velocidade de $0,8 \text{ m/s}$, são mostrados os resultados obtidos com as cargas de $5,0$ e $10,0 \text{ kg/m}^2$ e constata-se que o tempo de processo da primeira, para se atingir 8% de umidade foi de 1 h e 30 min contra 2 h e 40 min da segunda. Atesta-se assim, novamente a maior viabilidade de se submeter à secagem, nessa faixa de valores, o dobro de carga, visto não ser necessário o dobro de tempo para que se complete o seu processamento.

Na avaliação do parâmetro "variação de carga" foram encontrados alguns perfis inesperados, até mesmo incomuns. Na Figura 5.7. são apresentadas três curvas de secagem, duas das quais relativas a condições análogas de operação, mas com teor de umidade inicial diferente, e uma de maior carga. As cargas analisadas são $11,2$ e $14,0 \text{ kg/m}^2$. A forma das curvas correspondentes às cargas de $11,2 \text{ kg/m}^2$ é bastante diversa; a curva 1 não apresenta "período de velocidade crescente" e parece não ter um valor relativo à "umidade crítica". Já a curva 2 tem um perfil característico, apresenta "período de velocidade decrescente" e um ponto de "umidade crítica". Essa diferen

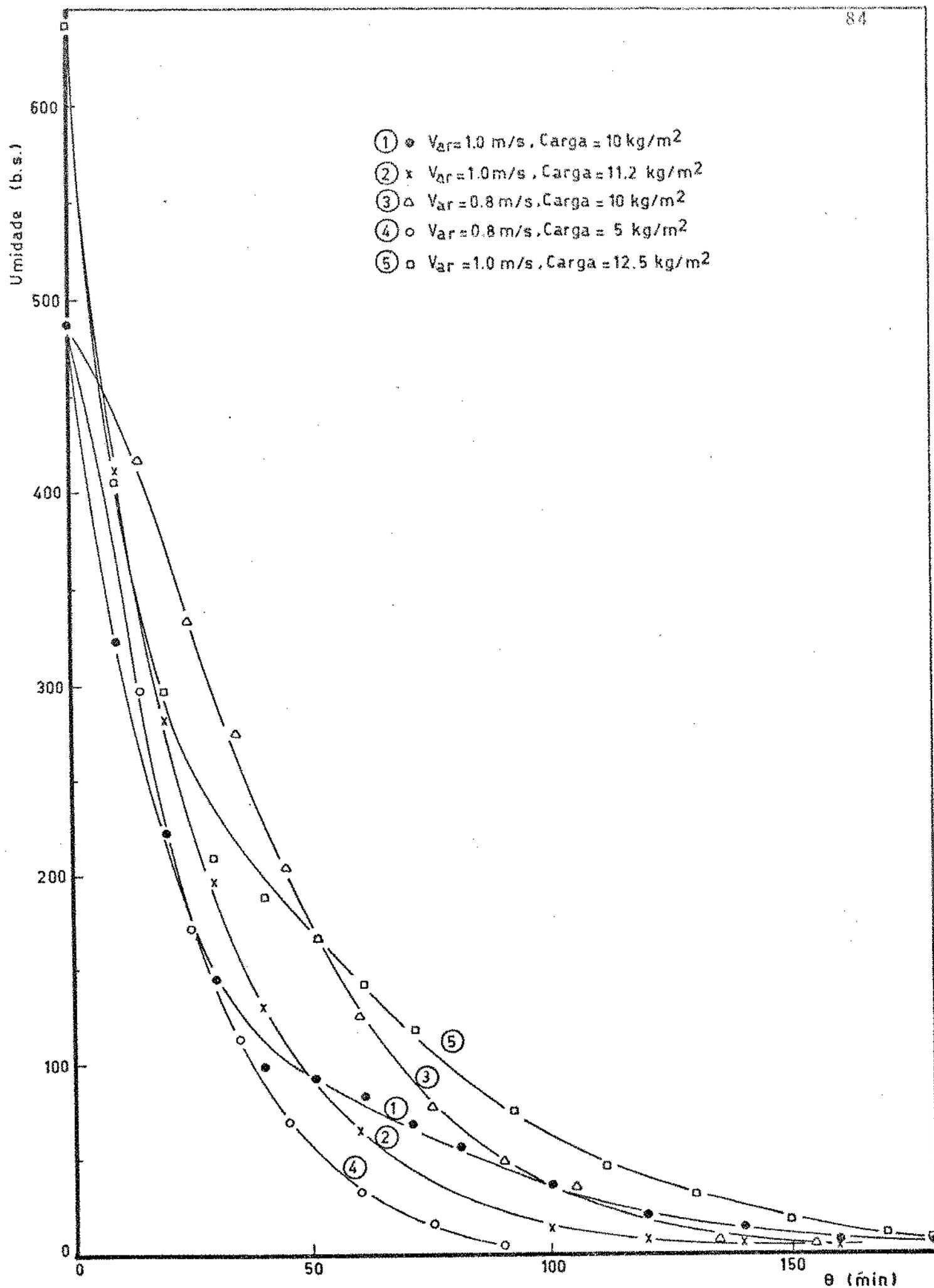


Figura 5.6. Efeito da variação de carga na secagem

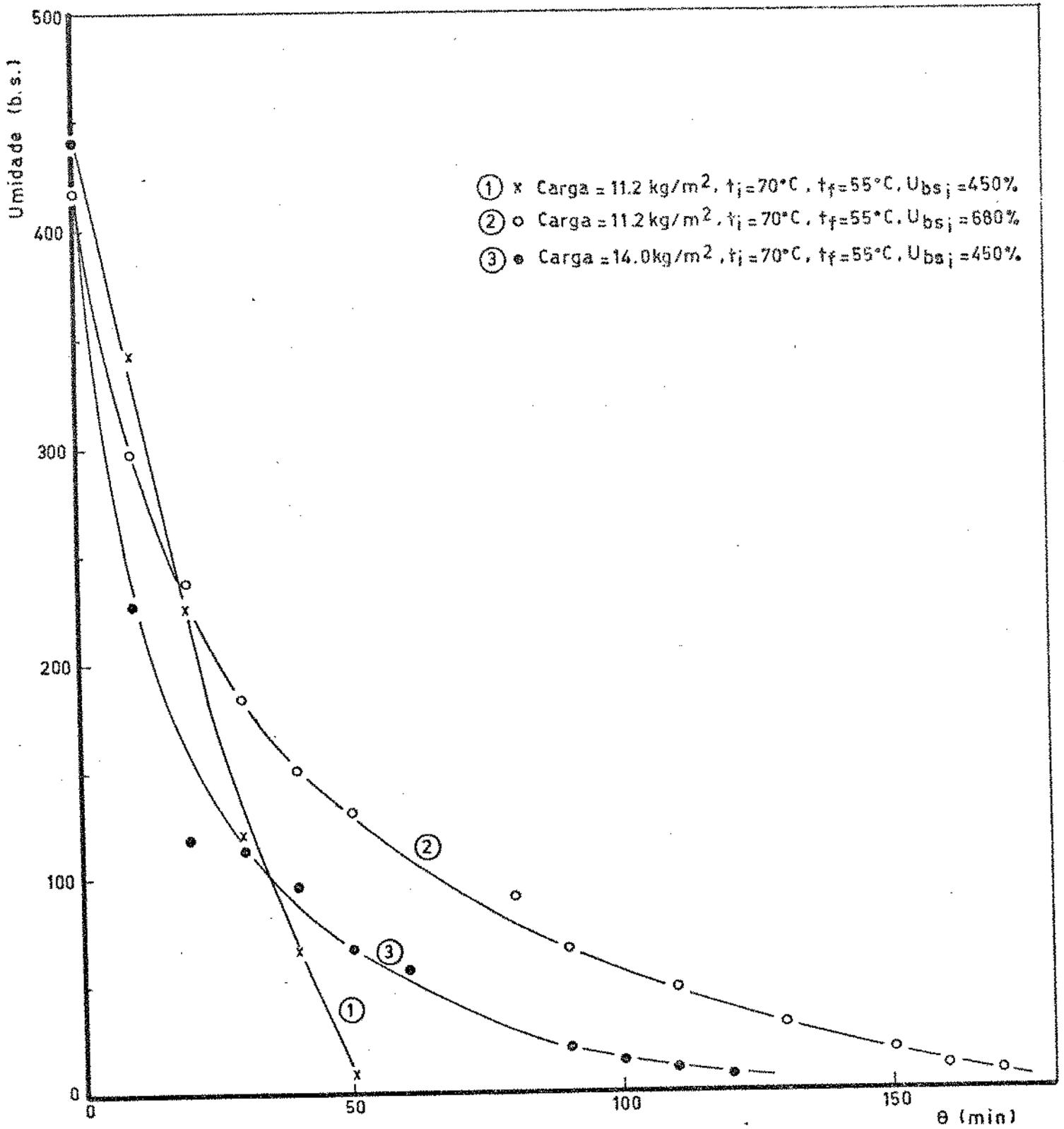


Figura 5.7. Efeito da variação de carga na secagem do bagaço de cebola

ça de comportamento das duas curvas, relativas ao material submetido a condições idênticas, parece ser devida aos diferentes conteúdos iniciais de umidade, que alteram o valor da "umidade crítica" (HARMATHY, 1969). É importante destacar que a curva 2 encontra-se deslocada em 10 minutos. A geometria particular da amostra a ser seca também afeta as curvas de secagem e é provável que tenha havido alguma desuniformidade do material, que era proveniente de processos distintos.

Outro acontecimento inesperado, apresentado no mesmo gráfico, é a secagem mais rápida da carga maior ($14,0 \text{ kg/m}^2$) em relação à menor ($11,2 \text{ kg/m}^2$). Torna-se conveniente comparar as curvas 3 e 2; esta última refere-se à carga de $11,2 \text{ kg/m}^2$, mas está bastante atrasada em relação à primeira. Observa-se que para secar $14,0 \text{ kg/m}^2$ até cerca de 6% de umidade dispendem-se cerca de 2 horas; para secar $11,2 \text{ kg/m}^2$ até a mesma umidade foram gastas 3 horas. Supõe-se, mais uma vez, que a influência das condições iniciais no valor da "umidade crítica" ocasionou essa diferença de comportamento, que implicou em maior dispêndio de tempo para secagem de menor carga. A velocidade do ar de secagem nessas três corridas foi de $1,0 \text{ m/s}$.

A Figura 5.8. é referente aos mesmos experimentos, porém os resultados apresentados foram obtidos por secagem na última bandeja do secador, que recebe ar mais saturado. O comportamento já discutido é confirmado, com a única diferença de que a curva 1, relativa à carga de $11,2 \text{ kg/m}^2$ e umidade inicial mais baixa apresenta uma queda menos brusca, porém o "período de velocidade decrescente" é ainda muito pouco definido. Na Figura 5.8. foi feita uma defasagem da curva 2, de 25 minutos, para que todas as curvas apresentassem a mesma umidade inicial. Mesmo assim, a curva 2, correspondente à carga de $11,2 \text{ kg/m}^2$, no final mostra-se bastante próxima à curva 3, da carga de $14,0 \text{ kg/m}^2$.

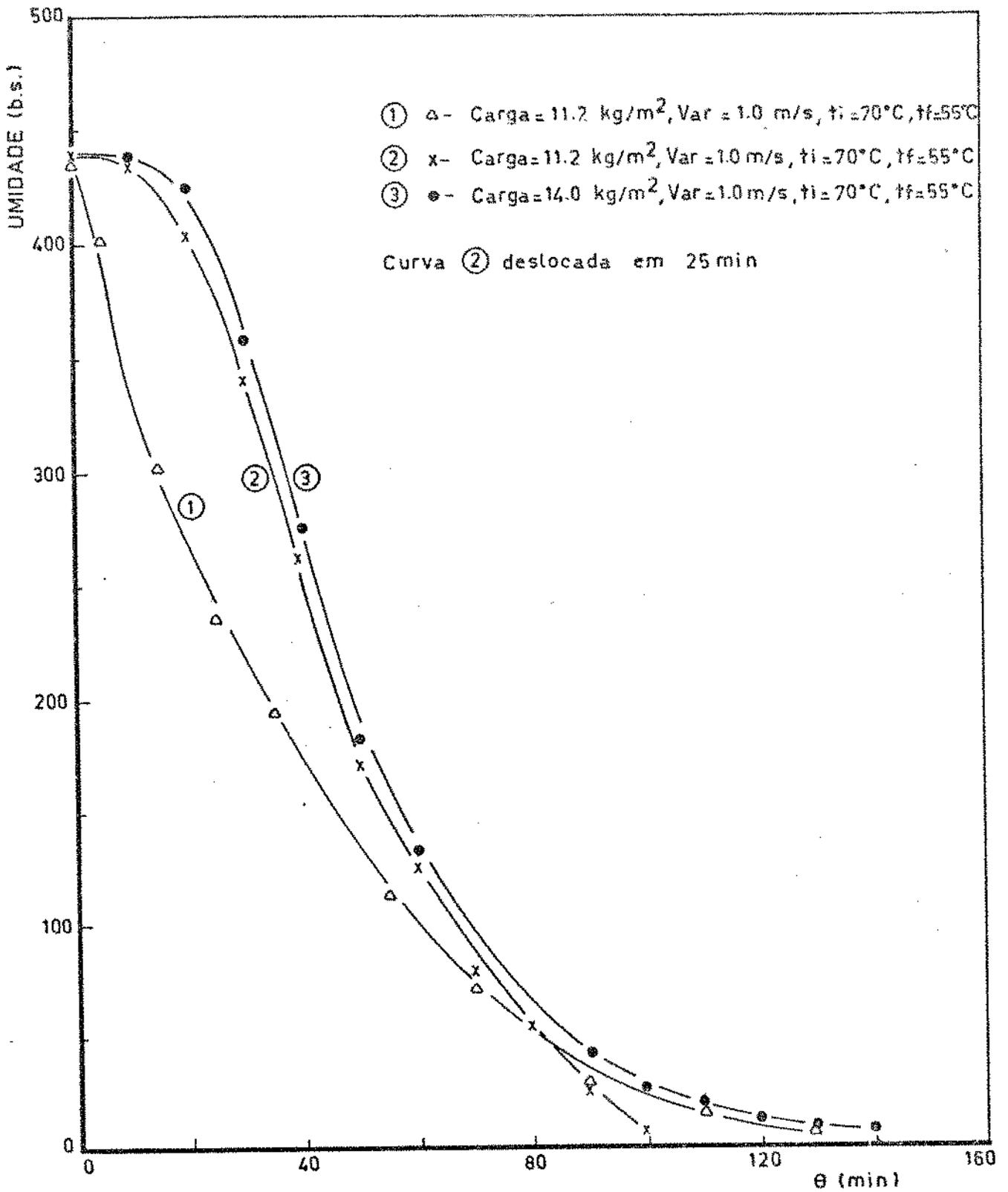


Figura 5.8. Efeito da variação de carga na secagem do bagaço de cebola na última bandeja do secador

As figuras analisadas ilustram o efeito das diferentes variáveis na taxa de secagem. Mas falta a análise de resultados em termos de taxa de secagem em função dos diferentes parâmetros sob avaliação. A influência de cada um desses fatores na taxa de secagem será apresentada nas tabelas que se seguem (5.1, 5.2 e 5.3). A taxa é determinada através dos coeficientes angulares das curvas de variação de umidade vs tempo, sendo constante só a umidades maiores que a crítica.

Assim, através da Tabela 5.1., avalia-se a relação entre a variação da velocidade do ar, a taxa de secagem e o mecanismo de movimentação de umidade. O comportamento do material, que é um sólido fibroso, está bem caracterizado. No início da secagem, em que toda a superfície se encontra saturada com água, a velocidade do ar tem grande influência na taxa de remoção de umidade e esta, por ser função da velocidade, aumenta com o aumento da mesma. Há porém uma taxa maior a 1,0 m/s que a 1,2 m/s, nos primeiros 30 min. Não se pode sugerir uma interpretação confiável para tal comportamento. À medida que a porcentagem de água diminui, a influência da velocidade é cada vez menor; os valores da taxa de secagem ficam bastante próximos e são função do mecanismo de difusão. Como as taxas de difusão são bem menores que a capacidade de evaporação superficial, a taxa de secagem diminui até se aproximar de zero (tais valores são encontrados nas práticas realizadas) e chegar a um conteúdo de umidade de equilíbrio, que é o mínimo teor de umidade atingível com as condições empregadas. Os resultados dessa tabela aparecem graficados na Figura 5.9.

A influência do parâmetro temperatura é mostrada na Tabela 5.2., cujos valores encontram-se representados na Figura 5.10. O efeito da temperatura é diverso do da velocidade do ar; no início da secagem, quando o material se encontra saturado de umidade e a

Tabela 5.1. Valores da taxa de secagem (R = g/min 100 gr mat. seca) em função da velocidade do ar

variação de umidade	360	270	125	40	20	8
v (m/s)						
0,80	8,50	3,40	1,00	0,75	0,14	-
1,00	17,25	6,00	2,72	0,58	0,58	0,37
1,20	12,72	9,20	5,00	2,70	0,42	-

Obs: Para determinação dos valores de R foram usadas as curvas 1, 2 e 4 da Figura 5.4.

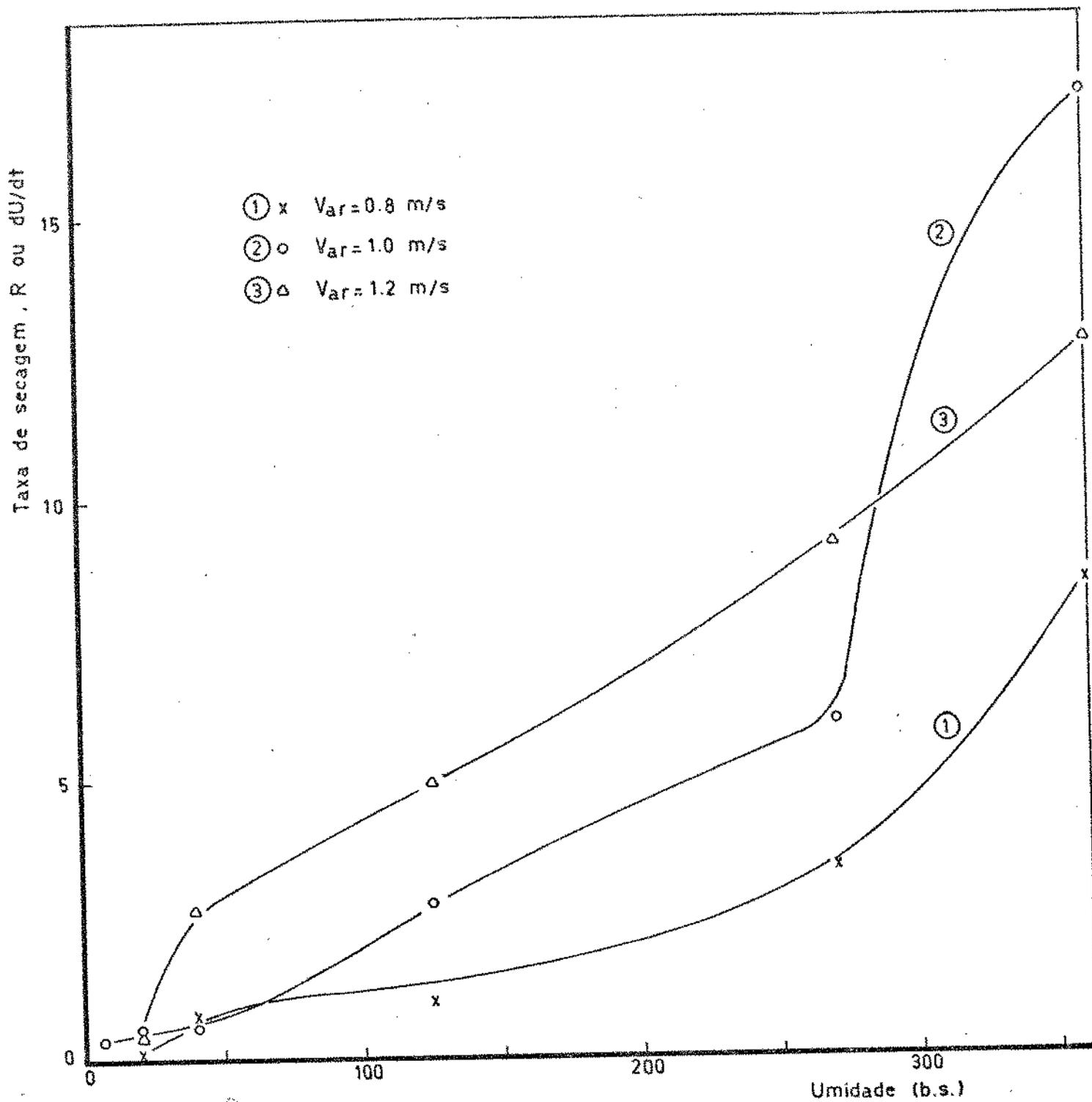


Figura 5.9. Taxa de secagem (R) vs umidade média do bagaço de cebola.
 Parâmetro em avaliação: velocidade do ar.

Tabela 5.2. Valores da taxa de secagem (R) em função da variação de temperatura

variação de umidade / temperatura	360	270	180	130	70	40	20
55°C	8,0	8,0	3,2	1,6	1,2	0,7	-
60°C	12,6	10,0	3,8	2,5	1,7	1,06	0,7
70°C	16,0	16,0	9,5	5,0	2,3	1,1	0,9

Obs: Para determinação de R, foram usadas as curvas 1, 2 e 3 da Figura 5.2.

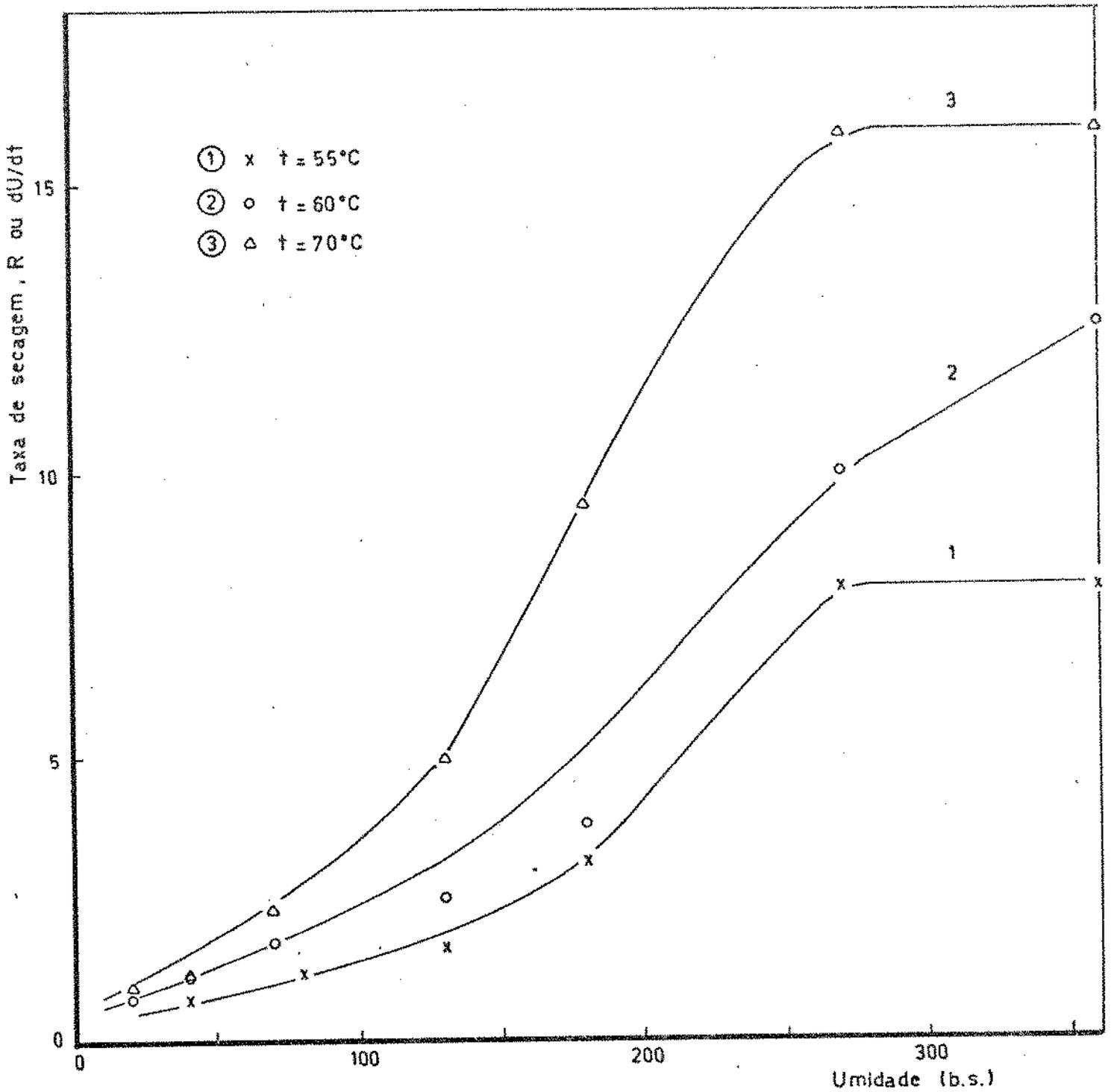


Figura 5.10. Taxa de secagem (R) vs umidade média do bagaço de cebola.

Parâmetro em avaliação: temperatura do ar.

migração da mesma é devida à evaporação superficial, o aumento de temperatura ajuda na evaporação dessa água na corrente gasosa, porém o mecanismo não é diretamente dependente. Atingida a umidade crítica e iniciado o período de velocidade decrescente, o mecanismo de controle passa a ser difusional. A taxa de difusão é proporcional à temperatura; aumentando-se a temperatura, aumenta a difusividade e em decorrência, aumenta a taxa de secagem. Esse comportamento encontra-se comprovado na referida tabela, onde são encontrados valores de taxa de secagem, para diferentes faixas de umidade do sólido, em função da temperatura. Como foi previsto teoricamente, um aumento na temperatura resulta em aumento na taxa de secagem.

O outro parâmetro, que afeta a taxa de secagem, e que foi avaliado experimentalmente foi a variação de carga das bandejas, o que equivale a uma mudança na espessura de camada submetida à secagem. A eliminação de água das bandejas pode ser explicada por uma sucessão de dois mecanismos: (1) migração de umidade até a superfície de cada partícula individual de bagaço e (2) arraste da água, pelo ar, até a superfície da camada, tratando-se assim de uma transferência de massa por difusão molecular seguida de uma transferência convectiva. No primeiro período de velocidade decrescente importa a resistência da camada de bagaço, a qual se modifica enquanto ocorre a desidratação. Verifica-se através da Tabela 5.3., que os valores de R, a partir de 50% de umidade, apresentam um comportamento anômalo na variação das taxas. Uma provável explicação para esse comportamento seria a de que as modificações do bagaço durante a secagem consistem em fenômenos de encolhimento, formação de cascas endurecidas ("case hardening"), criação de caminhos preferenciais do ar de secagem, agregação do material. Conseqüentemente, a eficiência de transferência de massa é reduzida. Observa-se que à maior espessura é maior o efeito do encolhimento e contrações.

Tabela 5.3. Variação da taxa de secagem (R) em função da variação de carga (espessura da camada)

variação de unidade carga	340	220	170	90	50	30	10
10,0 kg/m ²	14,00	12,57	9,80	6,62	1,00	0,82	0,18
11,2 kg/m ²	13,25	7,56	3,63	3,50	1,80	1,00	0,15
12,5 kg/m ²	12,40	5,06	2,91	2,13	1,33	1,18	0,44

Obs. Para determinação de R, utilizaram-se as curvas 1, 2 e 5 da Figura 5.6.

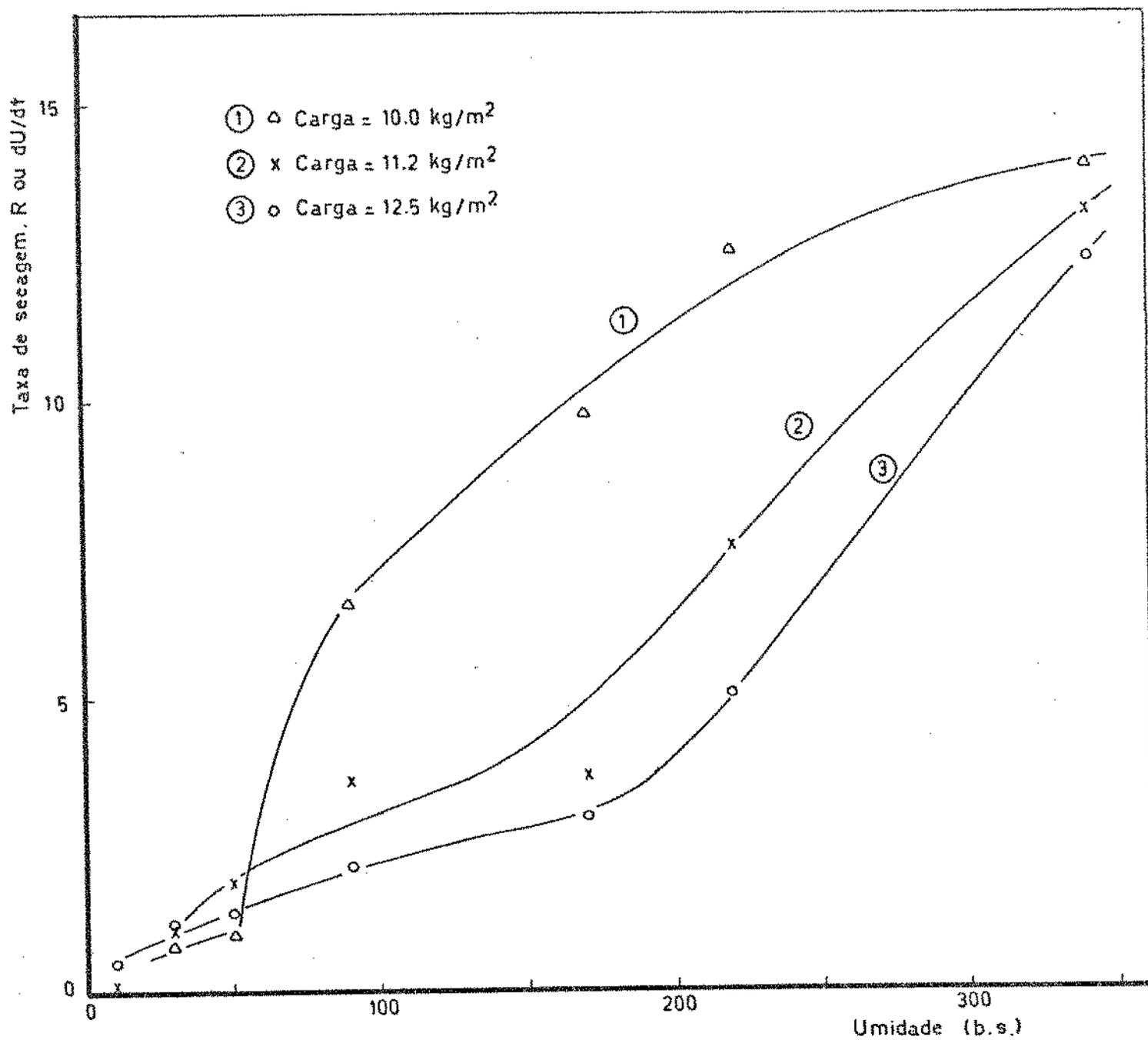


Figura 5.11. Taxa de secagem (R) vs umidade média do bagaço de cebola.
Parâmetro em avaliação: carga da bandeja.

Tabela 5.4. Valores de $M/(A\theta)$ (taxa de secagem global) para as diferentes condições de secagem

Velocidade do ar (m/s)	Temperatura (°C)	Carga (kg/m ²)	Umidade final (%)	Taxa de secagem global (g/m ² -min)	Taxa de secagem global (kg/m ² -h)
0,80	45	5	8	27,60	1,65
0,80	55	5	8	59,28	3,56
0,80	45	10	8	35,00	2,10
0,80	55	10	8	65,00	3,90
0,80	60	10	8	67,00	4,02
0,80	70	10	8	91,70	5,50
0,80	55	12,5	8	44,00	2,64
1,00	55	10	8	62,42	3,74
1,00	70	11,2	8	68,25	4,10
1,00	55	12,5	8	67,90	4,07
1,00	55	11,2	8	74,60	4,47
1,20	55	10,0	8	65,00	3,90

A análise das curvas de secagem, com a avaliação da influência de cada um dos parâmetros nas respectivas taxas de secagem foi feita e os resultados já discutidos. Porém não levam à definição de quais seriam as condições ótimas de secagem do bagaço de cebola, dentre as diversas estudadas. Por condição ótima entende-se a combinação entre carga, velocidade e temperatura, que leva a um produto seco de boa qualidade, com uma taxa de secagem máxima. Na Tabela 5.4., essa taxa não é calculada através da inclinação das curvas, mas sim através da razão entre massa submetida à desitração e o produto da área pelo tempo necessário para se atingir a umidade final desejada. Todos os valores finais tabelados referem-se à umidade final de 8%. Nos experimentos em que tal umidade não foi alcançada, os tempos totais de secagem foram extrapolados.

A taxa de secagem ótima é a de $5,50 \text{ kg/h m}^2$, obtida quando se trabalhou a uma velocidade de $0,80 \text{ m/s}$, 70°C e carga de $10,0 \text{ kg/m}^2$. Porém em comentários prévios falou-se da inadequação de tal temperatura, sendo desaconselhável o seu uso.

Dentro da faixa analisada, podem, então, ser escolhidas como condições ótimas de secagem, as seguintes:

velocidade do ar (m/s)	temperatura ($^\circ\text{C}$)	carga (kg/m^2)	taxa ($\text{kg/m}^2 \text{ h}$)
1,0	55	11,2	4,47
1,0	inicial: 70 final : 55	11,2	4,10
1,0	55	12,5	4,07

A primeira situação apontada é a que resulta em maior taxa; é conveniente então que seja adotada a priori. Entre as outras duas, as diferenças são pequenas, sendo, portanto, aconselhável a escolha da de maior carga, por resultar em melhor aproveitamento da área do

secador, menor insumo (mesmo que por período curto) de energia térmica.

5.5.5. Encolhimento

Durante a secagem, foi visível desde o início (ainda no período de velocidade constante), uma contração ou encolhimento do bagaço de cebola. Quando se procedia às pesagens, para posterior cálculo de perda de água, sempre se verificava a existência de uma faixa, correspondente às bordas das bandejas, onde não havia material.

O bagaço, sob secagem, concentrado no meio da bandeja, tinha as superfícies superior e inferior secas, enquanto que no meio encontrava-se material ainda bastante úmido. A presença de bordas vazias nas bandejas levou à formação de caminhos preferenciais de ar, ocasionando perda irregular de umidade durante a desidratação.

Tal comportamento obrigou a uma redistribuição do bagaço nas bandejas, através de desagregação manual, cuja realização era mais uniforme quanto mais úmido estivesse o bagaço.

O encolhimento do bagaço e suas consequências no processo de secagem podem ser uma explicação aceitável para alguns resultados inesperados, encontrados na avaliação de parâmetros que influem na velocidade de secagem, como por exemplo, a carga das bandejas.

5.6. CARACTERIZAÇÃO COMPARATIVA DA QUALIDADE DO PRODUTO

5.6.1. Introdução

Ao se retirar água dos alimentos, a perda ou retenção de aromas é um dos itens de maior ponderação na escolha do processo ope

racional (BOMBEN et alii, 1973). E a viabilidade de utilização desse processo vai depender, além dos aspectos tecnológicos, da qualidade do produto obtido.

Segundo HAWTHORN (1967, cap. 1), há muita confusão quanto ao significado da palavra qualidade, quando aplicada a alimentos. Para o autor, essa palavra deve referir-se a atributos do alimento, que o tornam agradável para quem o consome. Num sentido amplo envolve fatores como cor, sabor, textura, além de valor nutricional, ausência de microrganismos e substâncias indesejáveis.

KRAMER et alii (1966) dizem que atributos de qualidade sensoriais podem ser classificados de acordo com os sentidos humanos pelos quais são percebidos: visão, tato, gosto e cheiro. A complexa percepção que resulta da interação desses sentidos é usada para medir a qualidade do alimento em programas de controle de qualidade, onde se buscam avaliações como predileção do consumidor, diferenças e preferências entre amostras, seleção do melhor processo e de terminação do grau ou nível de qualidade do produto.

A avaliação de qualidade de um produto desidratado normalmente é feita reconstituindo-o com água e efetuando testes de odor e sabor comparativos com a matéria prima original.

Além da avaliação sensorial, que é fundamental quando se trabalha com novos produtos para se verificar sua aceitação, há ainda a avaliação química (composicional) de qualidade. É feita comparando-se as mudanças de composição entre o produto "in natura" e o produto terminado, visto que sempre se tem como objetivo no processamento, a obtenção de um produto final o mais semelhante possível à matéria prima.

MAZZA e LEMAGUER (1979), durante a desidratação de fatias de cebola, estudaram a retenção de voláteis, em função das diferen-

tes condições de processo. Os componentes voláteis da matéria prima e produto acabado foram analisados pela técnica de espaço livre superior ("headspace") em cromatógrafo a gás-espectrômetro de massa e constatou-se que alguns compostos como dipropil dissulfeto, 1 - propanol são quase totalmente perdidos antes que seja atingida a umidade crítica na desidratação.

Na desintegração dos tecidos da cebola há desenvolvimento de odor característico e do fator lacrimatório, imediatamente após o corte ou esmagamento da amostra. A origem desse fenômeno, segundo investigações realizadas, é resultado da conversão de sulfóxidos de cisteína substituído a ácidos alquil-sulfênicos, por ação da enzima denominada alliinase, presente na cebola. Há ainda formação de ácido pirúvico e amônia. Dos compostos formados, o único estável e fixo é o ácido pirúvico.

Assim, um outro método de avaliação química de qualidade do produto é a determinação desse ácido (livre + ligado). SCHWIMMER et alii (1961, 1962) observaram que o conteúdo total de ácido pirúvico produzido depende do grau de pungência dos lotes de matéria prima pesquisados e que existe uma correlação significativa muito alta entre o conteúdo de ácido pirúvico produzido enzimaticamente, presente no suco da cebola triturada e o limite olfativo de detecção de odor do mesmo suco. Conclui-se, então que a determinação de ácido pirúvico em suco de cebola fresco, além de ser um método químico simples, é bastante viável para se estimar esse aspecto do aroma de cebola.

O mesmo pesquisador (1964) conseguiu usar esse método de determinação e encontrou correlação entre pungência e conteúdo de ácido para cebolas desidratadas.

Essa caracterização química de aroma revela-se inviável, contudo, quando se trabalha com a análise de óleo essencial de cebola.

De qualquer forma, a determinação do conteúdo de ácido pirúvico pode ser considerada, de acordo com as pesquisas já desenvolvidas, como um método adequado de avaliação da qualidade do produto.

Assim, no presente estudo, considerou-se que uma avaliação de qualidade representativa, principalmente ao se lidar com produtos novos, como é o bagaço seco, deveria aliar a avaliação sensorial de odor e sabor à avaliação química de odor. As avaliações foram feitas comparativamente e nesse caso além de ser comparado à matéria prima, o produto final (bagaço seco) foi analisado ainda com relação à cebola desidratada em fatias, que é um produto final já conhecido e existente no mercado.

A cebola desidratada em fatias foi obtida em experiências feitas por pesquisadores do departamento, com condições de processo e ambientais semelhantes às que se empregaram na produção do bagaço seco.

5.6.2. Análise sensorial

Os ensaios de análise sensorial foram realizados comparando-se os dois tipos diferentes de produto final. Além dessas duas amostras, havia uma padrão, que era cebola "in natura" da mesma procedência e com as mesmas características que a usada para obtenção dos produtos secos.

A amostra de bagaço seco foi obtida através da secagem da polpa úmida. A condição de desidratação empregada foi a considerada mais adequada em item anterior desse capítulo: temperatura de operação

ção de 55°C, carga da bandeja de 11,2 kg/m² e velocidade do ar de 1,0 m/s. A umidade final dessa amostra era 8%. A amostra de cebola desidratada em fatias apresentava uma condição final semelhante: 8,5% de umidade (base úmida).

A análise sensorial foi realizada em 5 períodos consecutivos (manhã e tarde). A amostra de bagaço seco encontrava-se acondicionada em vidro completamente vedado e a amostra de cebola em fatias desidratada, em lata comum de folhas de flandres de 0,25 kg de capacidade. Todas as amostras haviam sido estocadas à temperatura ambiente. O material seco foi preparado para análise da seguinte maneira: 7 gramas de amostra foram reidratadas com 100 ml de água fervente, por 30 minutos. A seguir foi feita a drenagem da água em excesso e os produtos foram servidos aos provadores. Foi utilizada uma equipe de 9 provadores e cada um recebeu 3 pratos contendo amostras das cebolas reconstituídas e o padrão. As notas eram dadas marcando-se pontos, em escala não estruturada, que correspondiam a notas de 1 a 10. Foram avaliados odor, sabor e textura.

A tabela abaixo mostra as características de cada uma das amostras submetidas à análise sensorial

Tabela 5.5.

Amostra	Tipo de produto	Condição de processo a que foi submetida
I	Cebola "in natura"	Nenhuma
II	Cebola em fatias desidratadas	Var = 1 m/s Uf(b.u.) = 8,5% t = 60°C
III	Bagaço de cebola seco	Var = 1 m/s Uf(b.u.) = 8,0% t = 55°C

Os resultados da análise sensorial desses produtos é mostrado na seguinte tabela:

Tabela 5.6. Resultados da análise sensorial

Amostra	Odor	Sabor	Textura
I	8,22	8,80	8,82
II	6,10	6,00	7,75
III	4,27	2,87	3,57

Esses resultados correspondem a valores médios dos cinco testes feitos e através dos mesmos é possível constatar-se que:

(1) quanto à odor, a amostra padrão foi a melhor, diferindo significativamente de todas ao nível de 5%.

(2) com relação ao sabor, o mesmo comportamento foi observado.

(3) quanto à textura, a amostra padrão foi a melhor, diferindo ao nível de significância de 5% da amostra III, mas não da II.

Assim, quando testadas com o padrão as amostras diferiram em odor e sabor ao nível de 5%. Em textura a amostra II não diferiu do padrão (amostra I). A amostra III diferiu também da amostra II ao

nível de 5%, em qualquer uma das características avaliadas. A avaliação sensorial acusou que a amostra III é a que obteve a pontagem mais baixa da equipe de provadores e difere significativamente das demais.

Deve-se notar que as amostras I e II correspondem à cebola integral, enquanto a III é um dos dois produtos do nosso processo.

Em consequência, seria interessante realizar novas análises com o produto reconstituído integral (bagaço seco + suco).

5.6.3. Determinação de ácido pirúvico

Essa análise foi realizada com o objetivo de se avaliar quimicamente a pungência ou a retenção de aroma dos produtos processados. Foram analisados cebola "in natura" que funcionou como padrão e dois tipos de produtos desidratados: fatias de cebola e bagaço. Houve interesse em se estudar esses dois produtos para que se verificasse diferença de qualidade entre eles.

O procedimento para matéria prima e produto acabado é um pouco diferente, devido à diversidade de características dos materiais. Os dois métodos encontram-se descritos no Apêndice B.

Os resultados obtidos no teste são apresentados abaixo, sob a forma de concentração de $\mu\text{mol/ml}$.

Tabela 5.7. Resultados do teste de piruvato

Amostra	Tipo de produto	Concentração em ácido pirúvico	
		P_A ($\mu\text{mol/ml}$)	P_W ($\mu\text{mol/ml}$)
I	Cebola "in natura"		0,1125
II	Cebola em fatias desidratada	0,055	0,060
III	Bagaço seco	0,048	0,067

Por P_W entende-se o ácido pirúvico produzido enzimaticamente e por P_A aquele que já se encontra no produto. Isto é válido somente para amostras desidratadas, porque P_A (que pode ser considerado o controle) é relativo ao conteúdo de ácido pirúvico presente na matéria prima e que não foi perdido com o processamento. Na amostra da matéria prima, só se mediu a concentração de ácido pirúvico produzido enzimaticamente pois todo ácido foi formado por ação da enzima alliinase sobre os precursores de aroma, no momento em que foi rompido o tecido da cebola. Os valores de concentração obtidos encontram-se dentro do esperado, visto que a magnitude de P_W , sem exceção, foi maior que a de P_A , significando que as amostras retiveram, no mínimo, parte do complemento original da enzima e precursores. Além disso, é possível verificar que uma fração do piruvato, encontrado nas amostras reidratadas, foi produzida por ação da enzima, conservada após a desidratação.

Através dos dados da Tabela 5.7., nota-se que não houve diferença significativa entre os conteúdos de ácido pirúvico dos dois

produtos secos. Ambos, porém, são bem menores que o contido na matéria prima. Para a amostra II, o controle apresentava menor concentração, porém parece que o processamento a que foi submetida tal amostra foi menos danoso à conservação da atividade enzimática, resultando em maior concentração de P_W .

5.7. CONCLUSÕES

Dos experimentos realizados, conclui-se que:

- (1) O equipamento usualmente empregado para secagem de cebolas em fatias se adequa à secagem do bagaço ou polpa úmida.
- (2) Em um secador vertical de bandejas, é inviável a manutenção das bandejas na mesma posição, devendo as mesmas serem movimentadas em contra-corrente ao fluxo de ar, resultando num processo semi-contínuo factível.
- (3) Das temperaturas testadas para secagem do bagaço, a mais adequada foi a de 55°C. As temperaturas de 60 e 70°C testadas resultaram em aumento da taxa de secagem, porém comprometeram a qualidade do produto. FINZER (1984) chegou à mesma conclusão ao trabalhar com secagem de fatias de cebola. A tentativa de se combinar duas temperaturas na secagem (70°C nos primeiros 40 minutos de processo e 55°C no período restante) deu resultados bons, porém julga-se haver necessidade de maior número de testes para afirmações definitivas. Com a constatação do aumento da taxa de secagem com o aumento da temperatura confirmou-se parcialmente a previsão de que a secagem do bagaço de cebola obedece ao mecanismo difusional de movimentação da umidade.
- (4) A melhor velocidade do ar, dentro da pequena faixa estudada foi a de 1,00 m/s, que resultou em maiores taxas globais de secagem

e não incorreu em problemas operacionais, como a de 1,2 m/s, que levou ao arraste do material. A velocidade de 0,80 m/s, apesar de ter sido a mais usada, revelou-se menos eficiente que a de 1,0 m/s e por isso seu uso é desaconselhável. Através das taxas de secagem encontradas com a avaliação desse parâmetro, na maioria dos experimentos define-se um período de velocidade constante e de velocidade decrescente, ou seja, há um valor de umidade crítica que depende das condições de operação.

- (5) A avaliação da variação de carga, não levou a resultados conclusivos pela análise da taxa de secagem. Porém com a determinação dos valores de taxa de secagem global ($M/A\theta$ ou Kg/m^2h) foi possível concluir que as melhores cargas dentre as estudadas, foram a de 10,0 e 11,2 kg/m^2 , que chegavam a valores bastante aproximados. Como a de 11,2 kg/m^2 implica em melhor aproveitamento da área de secagem e da energia térmica gasta, decidiu-se ser esta carga a mais aconselhável.
- (6) A secagem do material, nas melhores condições de velocidade de ar, carga e temperatura resultou em produto aceitável com 6% de umidade final, em um tempo algo menor que 3 horas.
- (7) Pela análise sensorial, a amostra do bagaço seco foi a que recebeu nota mais baixa dos provadores envolvidos, com relação a odor, sabor e aroma, quando comparada às amostras padrão e de cebola integral em fatias desidratadas.
- (8) Através da determinação de ácido pirúvico, mostrou-se que quimicamente não existem diferenças significativas (quanto à odor) entre as amostras desidratadas comparadas, embora a de bagaço seco tenha registrado maior conservação da atividade enzimática. Já a amostra padrão (cebola "in natura") apresentou um conteúdo de ácido pirúvico enzimático relativamente maior que as outras amostras.

tras; isto significa que os processamentos incorrem em perdas de odor característico da matéria prima, e que o processo de produção de bagaço seco é menos danoso à conservação de atividade enzimática que o de obtenção de cebola desidratada em fatias.

- (9) Para avaliação completa da qualidade de produtos secos derivados de cebola é sempre conveniente a realização simultânea de análise sensorial e avaliação química de odor, visto os resultados obtidos em ambas não concordarem.

6. DIMENSIONAMENTO DO PROCESSO

6.1. INTRODUÇÃO

De acordo com VILBRANDT e DRYDEN (1954), uma etapa básica na confecção preliminar de um projeto de indústria para estimativa de custos para o estabelecimento de um projeto detalhado de uma unidade comercial é a realização do que usualmente se chama de "process design" ou dimensionamento do processo.

WALAS (1959) diz que um "process design" envolve o preparo de um fluxograma, mostrando os principais equipamentos, condições operacionais, fluxo de material, balanço de massa e energia, instrumentos de controle, necessidades de serviços e estimativa do custo da planta. Porém, essa definição prevê a realização de um "process design" muito completo, praticamente um projeto de investimento.

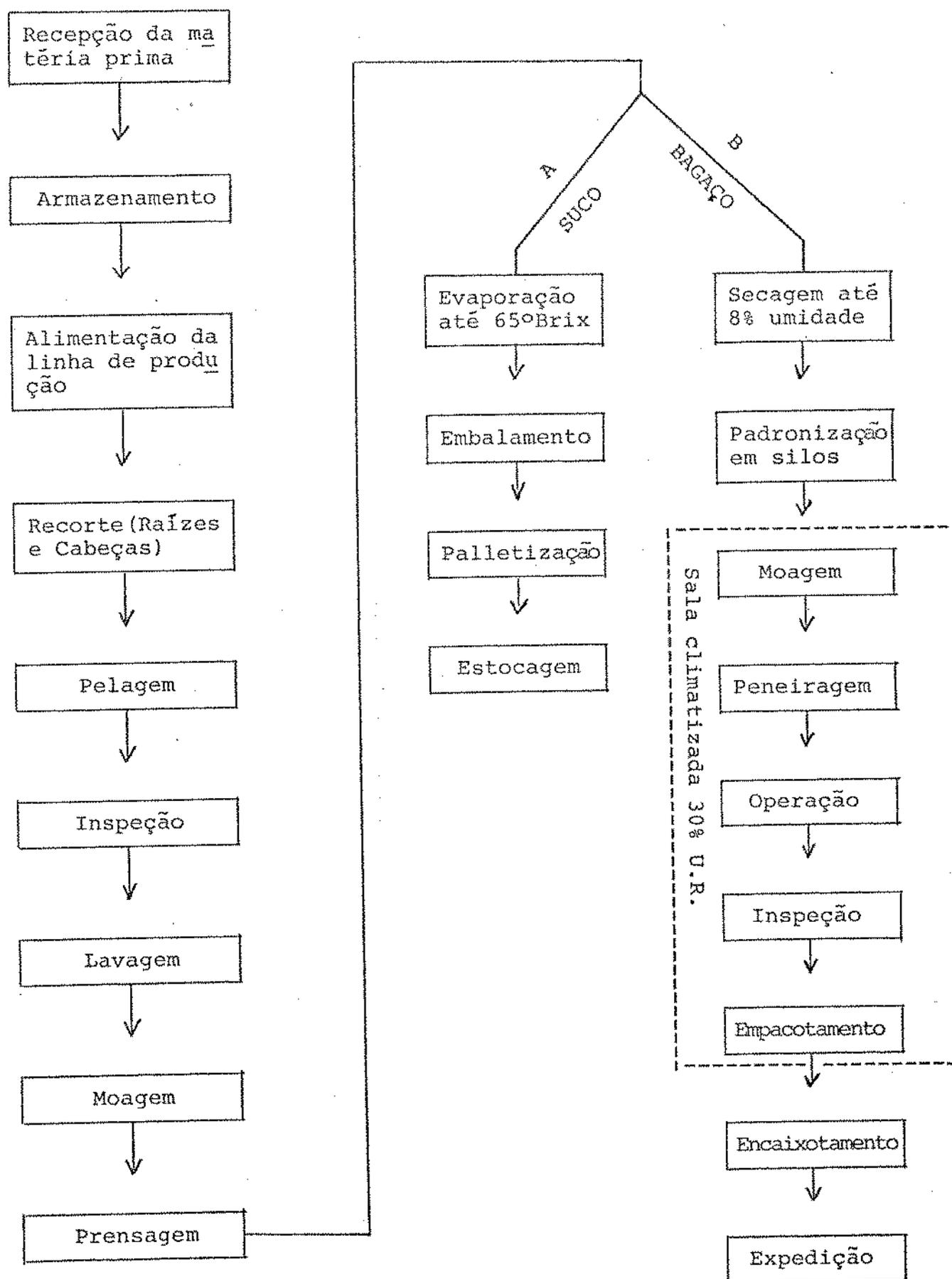
Como o objetivo principal desse capítulo era se chegar aos custos de produção do suco concentrado e bagaço desidratado de cebola, com uma aproximação suficiente para uma decisão de investimento, o enfoque principal foi direcionado a custos.

Baseado na sequência operacional obedecida na escala piloto e nos resultados experimentais, estabeleceram-se os fluxogramas qualitativo e quantitativo para o material em estudo.

Foi definida a capacidade da unidade industrial e feita a seleção do processo. A partir daí, foi possível escolher o tamanho dos equipamentos e obter informações sobre os custos dos diferentes itens que compõem o investimento.

A estimativa dos custos operacionais e a determinação dos custos finais de produção constituíram a etapa final do desenvolvimento do "process design".

6.2. FLUXOGRAMA QUALITATIVO



As etapas envolvidas no fluxograma qualitativo podem ser caracterizadas como segue:

(1) Recepção da matéria prima e armazenagem. A matéria prima é recebida em sacos de 20 kg ou em caminhões a granel, sendo então estocadas em armazéns ventilados, onde aguardam o processamento.

(2) Na etapa de recorte (ou "trimming") é feita a retirada de raízes e topos das cebolas. Como a matéria prima é manuseada individualmente, é nessa etapa em que também se faz a retirada do material que não se encontra em condições de ser submetido ao processamento.

(3) A pelagem é realizada em descascador por abrasão. A cebola deveria ter, preferencialmente, suas cascas retiradas por flambagem, método que resulta em menores perdas. Porém por não haver similar nacional para este fim, optou-se por descascadores mais comuns e difundidos, mas não específicos para a cebola.

(4) A inspeção tem por finalidade a retirada de material em condição insatisfatória, que deixou de ser separado na etapa (2), de recorte. Podem ainda surgir da pelagem, cascas e outros resíduos, que devem ser impedidos de seguir o curso sequencial do processo.

(5) A lavagem é empregada para obtenção da limpeza final do material a ser processado. A água usada deve ser clorada.

(6) Moagem: esta etapa normalmente não participa do fluxograma convencional da secagem de vegetais, como a cebola. Visa a facilitar a retirada do suco, efetuada durante a prensagem, pois a fragmentação do bulbo favorece a exudação do líquido. Será empregada uma máquina de moer carne, que se revelou muito eficiente para esse fim, de acordo com vários testes realizados em escala piloto.

(7) A prensagem será efetuada em prensas contínuas tipo "Expeller". Este tipo de prensa consiste de um parafuso, do tipo sem fim, cujo

curso é regulável, mudando assim a taxa de compressão; o parafuso é envolvido por tela de malha de tamanho variável, que retém a maior parte de sólidos. Resultam dessa etapa: suco simples e polpa úmida de cebola.

Constitui uma etapa de grande ponderação no "process design", pois por ser uma etapa nova, é de grande importância a avaliação de sua participação na análise global. Consequentemente, a prensa é um dos três equipamentos principais, cujos custos foram considerados para a estimativa do investimento fixo total.

Sequência A

(8) Evaporação do suco: é realizada em evaporador de triplo efeito com unidade para recuperação de aromas. Como já foi explicado no Capítulo 4 (Concentração), faz-se necessário a recuperação dos voláteis desprendidos no processo, visto que grande parte da água é evaporada e carrega consigo importante fração de compostos aromáticos.

Trata-se de uma etapa razoavelmente sofisticada e por ser um equipamento caro, mas energeticamente eficiente, terá grande influência na elaboração da estrutura de custos. Além disso é, junto com a etapa imediata anterior, uma inovação com relação à nossa matéria prima e deve ser considerada de grande importância.

(9) Embalamento, encaixotamento e expedição: o suco concentrado será enlatado em tambores de 20 l. A escolha de embalagem dessa capacidade se baseia no fato de que o produto destina-se basicamente a mercado institucional e uso industrial, não justificando o emprego de embalagens individuais menores. Não se previu uma pasteurização posterior devido à propriedade bactericida comprovada da cebola e produtos dela oriundos (LEWIS et alii, 1977). O uso de entamboramento asséptico geraria um produto com maior garantia de qualidade, porém devido à baixa produção horária de suco (400 kg/h) e à padronização da

capacidade dos tambores para 265 kg, inviabiliza-se sua utilização, pelos altos custos de investimento envolvidos (são usados para maiores escalas e exportação).

Sequência B

(8) A secagem do bagaço transcorrerá em secador de ar quente, do tipo bandeja. O material será acondicionado em bandejas e estas serão remanejadas, da mesma maneira que foi descrita na secagem em escala piloto, Capítulo 5, seção 5.4. A umidade final objetivada variará de 6 a 8%, segundo as normas da ISO (1981).

(9) A padronização em silos é feita devido ao fato de que os produtos poderão deixar a etapa anterior, com alguma variação nos teores de umidade. Por isso, há a necessidade, para que o produto final seja uniforme, de realização de uma mistura dos diferentes lotes diários, que será considerada como uma padronização do bagaço desidratado.

(10) Moagem: como o valor comercial do bagaço é até o momento desconhecido e como um estudo de aceitação no mercado, na forma em que deixa a etapa de secagem não foi realizado, para facilidade de comercialização, optou-se pela moagem, para que fosse vendido como pó.

(11) Peneiragem, aspiração e inspeção. A peneiragem é feita para verificar se o pó se encontra com a granulometria desejada. Realiza-se a aspiração para retirada de grumos que possam ter ficado aderidos ao moinho. A etapa de inspeção tem a finalidade de verificar a manutenção da qualidade do produto.

(12) Empacotamento, fechamento e expedição: como o objetivo é atingir o mercado institucional, decidiu-se pelo acondicionamento do bagaço seco em sacos de polietileno com capacidade para 5 l. Caso posteriormente se queira comercializá-lo, como o são usualmente os tem

peros, deve-se pensar em embalagens menores. O fechamento será feito por soldagem e para expedição os sacos serão acomodados em caixas de papelão.

As etapas 10, 11 e 12 são realizadas em ambiente com atmosfera controlada, normalmente com 30% U.R., para que não ocorra reabsorção de umidade pelo bagaço seco. Os investimentos feitos com essa sala de atmosfera controlada são pagos pela economia feita com a manutenção da qualidade do produto.

6.3. FLUXOGRAMA QUANTITATIVO

A capacidade da indústria foi definida baseada na capacidade de de um evaporador comercial de construção nacional.

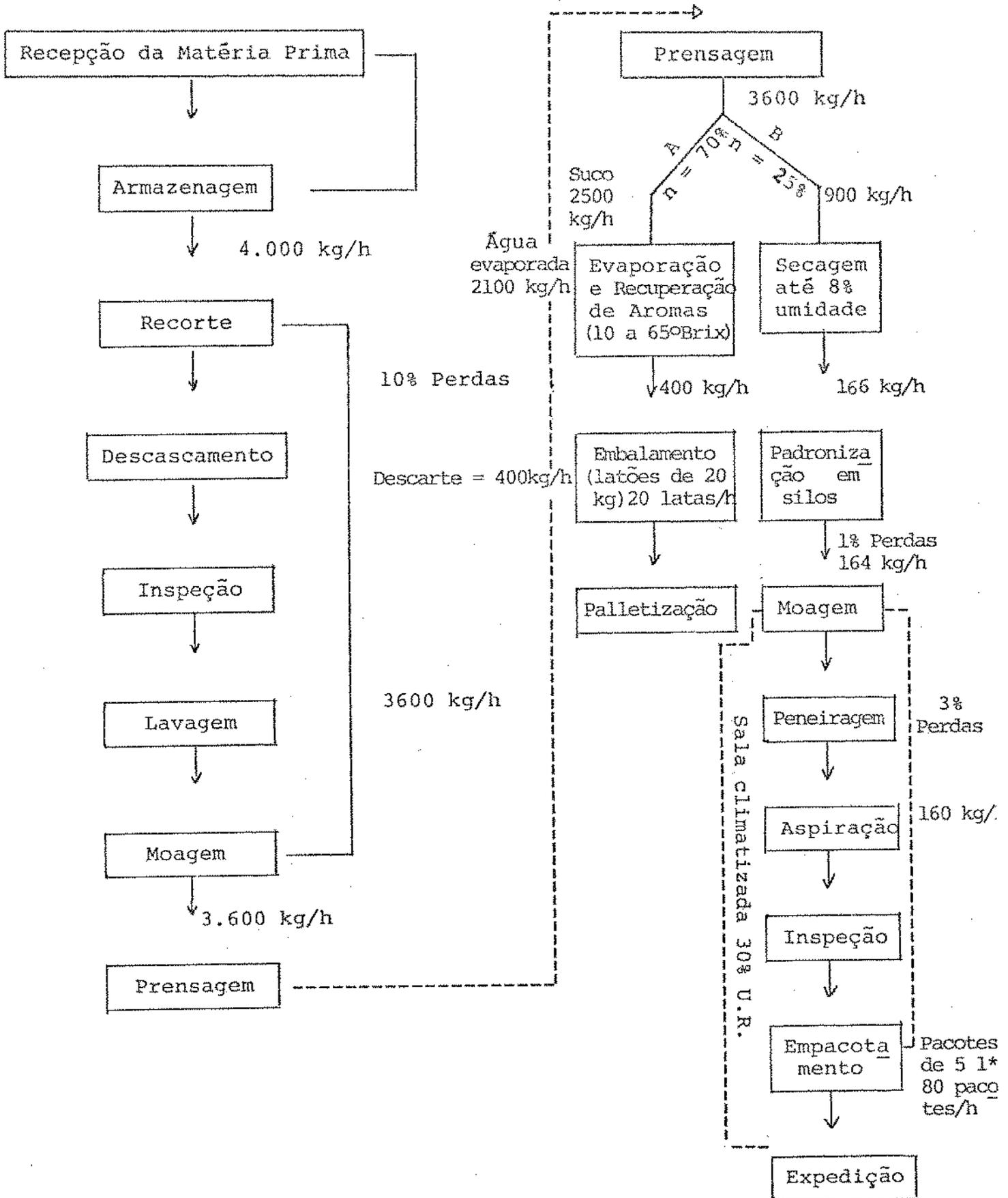
Em cima de um evaporador com capacidade de evaporar 2.250 kg/h de água, foram desenvolvidos os balanços de massa e então decidido o tamanho da unidade industrial.

É claro que houve a preocupação de se verificar se a produção de cebola teria condições de suprir as necessidades da matéria prima dessa unidade industrial. A indústria foi planejada para atender à produção de cebolas da região de Piedade, SP e as condições e considerações feitas são referentes a essa região.

O período de processamento é de 180 dias, em virtude da safra que tem a cebola e considerou-se que das 24 horas diárias de operação, 21 horas serão destinadas à produção e 3 horas serão usadas para limpeza.

Com base em todas as considerações realizadas, estabeleceu-se o seguinte fluxograma quantitativo de processo:

FLUXOGRAMA QUANTITATIVO



* Considerando-se que em um pacote de 5 l são acondicionados 2 kg de bagaço seco.

6.4. EQUIPAMENTOS PRINCIPAIS

6.4.1. Prensa contínua tipo "Expeller"

Consiste de um parafuso rotativo perfeitamente ajustado dentro de um cilindro com fendas ou perfurações. O cilindro e o parafuso podem ser afilados na direção da extremidade de descarga para aumentar a pressão sobre o material. Essa extremidade é parcialmente fechada por um cone ajustável ou outro dispositivo, para mudar o tamanho da abertura e variar assim a pressão sobre o material. A rotação do parafuso faz com que o material se movimente para a frente e quando a pressão aumenta, o líquido é expelido e sai pelas aberturas do cilindro.

A capacidade de produção foi estabelecida para se operar com uma alimentação de matéria prima de 4 ton/h. Perdem-se nas etapas de inspeção, recorte, pelagem e lavagem 10% da matéria prima, que então é enviada para prensagem (aproximadamente 3,5 ton/h de cebola picada). A prensa tem capacidade de receber até 4 ton/h de matéria prima.

O rendimento da etapa de prensagem, conforme já se citou no capítulo correspondente, implica na obtenção média de 70% de suco, 26% de bagaço ou polpa úmida e os 4% restantes são relativos a perdas durante o processo.

Tem-se assim, dessa etapa, uma quantidade de cerca de 2,5 ton/h de suco para alimentação do evaporador e para a secagem serão enviados aproximadamente 0,9 a 1,0 ton/h de bagaço.

São então definidas as capacidades dos outros dois principais equipamentos de processo. (Ver detalhes no Apêndice D)

6.4.2. Evaporador com recuperador de aroma

Foi selecionado para essa etapa um evaporador de três efeitos e 4 estágios, de película descendente, com pré-aquecedores em todos os efeitos. Sua capacidade de evaporação é de 2.250 kg/h de água, de 10 até 65°Brix. Faz parte do equipamento um recuperador de aromas, cuja necessidade foi justificada no Capítulo de Concentração, pág. 50.

Alimentando-se com a quantidade de suco acima citada (2.500 kg/h) a 10°Brix e elevando-se esse teor de sólidos para 65°Brix, são evaporados 2.100 kg/h de água, o que significa que resta ainda uma pequena margem de capacidade.

6.4.3. Secador estacionário intermitente com bandejas para produtos vegetais

Trata-se de um secador de estrutura de perfis retangulares de aço carbono, com isolamento entre as chapas de aço internas e externas, tendo 4 portas de serviço dianteiras em aço comandadas manualmente e mantidas fechadas por ação de contra-pesos. A ventilação é feita através de ventilador centrífugo de 15 CV, sendo do tipo vertical ascendente. A distribuição de ar se dá em duas zonas de secagem, do tipo aspirante e ascendente e parte do ar de exaustão é reaproveitada. É constituído por 11 (onze) bandejas, com laterais de aço carbono com fundo de aço inoxidável 304.

O aquecimento do ar é feito por dois trocadores de calor, para vapor saturado até 10 kg/cm² de pressão de trabalho. São dois os controles de temperatura: o visual, por termômetros de expansão a mercúrio, um em cada zona de secagem e o controle automático, através de válvula reguladora de pressão e temperatura, localizada na entrada de vapor, atrás do secador.

Esse equipamento permite extrações de até 300 kg/h de água, para 60 m² de área perfurada das bandejas.

Como da prensagem (ver fluxograma quantitativo) vão resultar 900 kg/h de bagaço que serão submetidos à secagem, e dessa quantidade serão evaporadas 740 kg/h de água, serão necessários três desses secadores operando em paralelo, visto que cada um tem uma capacidade evaporativa média de 250 kg/h (para cebola).

6.5. INVESTIMENTOS

Compõem este item os desembolsos referentes a:

- . principais equipamentos de processo
- . instalação dos equipamentos
- . instrumentação e controle
- . tubulações
- . centrais de comando e instalações elétricas
- . construção civil
- . instalação e geração dos serviços
- . terrenos
- . supervisão e engenharia
- . despesas de construção

Existem vários métodos para se estimar ou calcular o investimento fixo necessário para instalação de uma indústria. O mais detalhado consiste em se destrinchar cada um dos componentes citados acima e apresentar cotações atuais para todos eles.

Trata-se de um método bastante trabalhoso, viável de ser desenvolvido quando a decisão de implantação já está tomada, ou seja, já existe a certeza da realização do projeto de investimento.

Numa análise mais simples, que é nosso propósito realizar, outros métodos menos acurados são permitidos e devem ser empregados.

Proporcionam resultados confiáveis, com a vantagem de serem menos lentos. Escolheu-se então o método que, segundo PETERS e TIMMERHAUS (1968), se chama "porcentagem sobre o valor dos equipamentos", exigindo que se tenha o valor de compra, através de cotações atualizadas, dos principais equipamentos e os outros itens são estimados como porcentagens desses valores. Estas são médias baseadas no tipo de processo envolvido, complexidade de projeto, materiais de construção necessários, experiência passada, etc. Existem valores tabelados para diferentes tipos de plantas (processadoras de sólidos, sólido-líquido e líquidos), que podem ser aplicados diretamente ou modificados de acordo com o julgamento e experiência do projetista.

6.5.1. Principais equipamentos de processo-valores de compra

Prensa contínua tipo "expeller" capacidade 3.500 a 4.000 kg/h	4.750 ORTN sem IPI
Evaporador de camada descendente com 3 efeitos e 4 estágios, capacidade de evaporação de 2.250 kg/h	US\$ 248.463,00 sem IPI
Secador de bandejas, com ventilação vertical ascendente e capacidade de evaporação de até 300 kg/h de água	10.767 ORTN sem IPI

6.5.2. Principais itens que compõem o investimento

Para composição do valor total do investimento, serão considerados os seguintes itens:

. instalação dos equipamentos	30% do valor dos mesmos (experiência no Brasil)
-------------------------------	---

. controle e instrumentação	13% do valor dos equipamentos (segundo PETERS e TIMMERHAUS, 1968, para plantas que processam sólidos-líquido)
. tubulações	**35% do valor dos equipamentos
. subestação elétrica e instalação	**6% do valor dos equipamentos
. prédios	*29% do valor dos equipamentos
. serviços	**50% do valor dos equipamentos
. terrenos	**5% " " " "
. engenharia e supervisão	*32% " " " "
. despesas de construção	*34% " " " "

* Segundo PETERS e TIMMERHAUS (pag. 118, Cap. 4).

** Valores médios, levando em consideração as porcentagens apresentadas em PETERS e TIMMERHAUS e as condições vigentes na região em que possivelmente seria implantado um projeto desse tipo.

6.5.3. Cálculo do investimento fixo

O custo dos equipamentos foi determinado em 25/06/84, quando se tinha as seguintes cotações: o dólar estava a Cr\$ 1.699,00 para venda e a ORTN estava a Cr\$ 12.137,98.

	Valor (UM x 10 ³)
(1) prensa contínua tipo "expeller" e acessórios	60.550
(2) 1 evaporador de película descendente com 3 efeitos e 4 estágios	456.000

(3) secador de bandejas, com ventilação vertical ascendente. Valor unitário: 141.000	
Como são necessários 3 desses secadores	423.000
(4) valor global dos principais equipamentos de processo	940.000
(5) instalação dos equipamentos (30% do valor dos equipamentos)	282.000
(6) controle e instrumentação (8% do valor dos equipamentos)	75.000
(7) tubulações (35% do valor dos equipamentos)	330.000
(8) central elétrica e instalações (6% do valor dos equipamentos)	142.000
(9) prédios (29% do valor dos equipamentos)	273.000
(10) serviços (inclusive instalação - 50% do valor dos equipamentos)	470.000
(11) terrenos (5% do valor dos equipamentos)	47.000
(12) engenharia e supervisão (32% do valor dos equipamentos)	301.000
(13) despesas de construção (34% do valor dos equipamentos)	320.000
Global do investimento fixo	3.180.000
10% Imprevistos	318.000
Investimento fixo total	3.500.000

$$\text{Fator de Lang: } \frac{3.500.000}{940.000} \frac{\text{U.M.}}{\text{U.M.}} = 3,7$$

6.5.4. Cálculo do capital de giro

Capital de giro é o montante de dinheiro necessário para colocar a planta em operação e depois mantê-la funcionando. É referente às necessidades da empresa em matérias primas, materiais auxiliares de processo, material de limpeza, gastos com água, energia elétrica, geração de vapor, pagamento do pessoal e outras despesas.

É possível determiná-lo, mas a princípio será estimado como uma porcentagem do investimento fixo total. A somatória Capital de giro e Investimento fixo total é chamada de Investimento Total.

Segundo PETERS e TIMMERHAUS (1968), o Capital de giro é aproximadamente equivalente a 15% do Investimento fixo total. Porém em indústrias de alimentos, em particular as sazonais, dispense-se muito com matérias primas, estoques, vapor, água e a necessidade de mão de obra é grande. Esses itens tem grande ponderação na composição do capital de giro e por isso, resolveu-se, nesse trabalho, aumentar a porcentagem citada acima para 40% do Investimento fixo.

Desta forma:

$$\begin{aligned} \text{C.G.} &= 40\% \text{ I.F.T.} \\ &= 0,40 (3.500 \times 10^6 \text{ U.M.}) \\ &= 1,4 \times 10^9 \text{ U.M.} \end{aligned}$$

Portanto,

$$\begin{aligned} \text{Investimento total} &= \text{I.F.T.} + \text{C.G.} \\ &= (3,5 + 1,4) \times 10^9 \text{ U.M.} \\ &= 4,9 \times 10^9 \text{ U.M.} \end{aligned}$$

Observação: a unidade monetária aqui empregada corresponde a cruzeiros do mês de junho de 1984.

6.6. DETERMINAÇÃO DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO

O modelo de custos aqui adotado e que reflete as planilhas em uso pelo Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDE) é o que divide os custos de produção em fixos e variáveis. Compõem o custo fixo: salários relativos à mão de obra indireta e respectivos encargos sociais, a depreciação (de veículos, prédios e equipamentos), a manu-tenção da planta, seguros e impostos sobre capital, juros cobrados sobre empréstimos feitos.

Fazem parte dos custos variáveis ou operacionais salários relativos à mão de obra direta e respectivos encargos, matéria-prima, água, vapor, energia elétrica e outros serviços, embalagens, transportes e fretes, etc.

Para que seja possível a estimativa do montante correspondente à mão de obra, faz-se necessário, primeiramente, verificar a demanda de mão de obra industrial.

6.6.1. Gastos com pessoal

O número de empregados em unidades de desidratação não é fixo e depende de um grande número de fatores. Esses fatores são: tipo de processo, grau de mecanização, eficácia do equipamento, grau de eficiência do arranjo físico, balanço adequado entre etapas operacionais, condição, variedade e características da matéria prima, especificações do produto acabado, habilidade e treino dos empregados.

RAMAGE e RASMUSSEN (1943) indicam o número de operários por turno para uma linha de desidratação de vegetais, entre eles, a cebola. A capacidade da planta avaliada por eles é de 50 ton/dia.

No nosso caso, a capacidade é de 4 ton/h. Considerando-se que se vai trabalhar em 3 turnos, perfazendo um total de horas equi-

valente a 21 (3 horas serão usadas para limpeza), tem-se um consumo global diário de 80 ton/dia.

A necessidade de mão de obra foi determinada, utilizando como base os dados citados por RASMUSSEN et alii (1943), alguns projetos curriculares e a experiência dos projetistas. A determinação por menorizada encontra-se no Apêndice C.

6.6.1.1. Mão de obra direta

São considerados integrantes da mão de obra direta todos os operários diretamente envolvidos na produção.

Tem-se o seguinte total de operários por turno:

- . 75 operários recebendo 1,0 salário mínimo/mês
- . 5 operários recebendo 1,5 salários mínimo/mês

Salários de mão de obra direta: 8.020×10^3 U.M./mês

Encargos sociais (90% dos salários): 7.218×10^3 U.M./mês

Salários + encargos sociais: 15.238×10^3 U.M./mês

Como se vai operar com 3 turnos de trabalho e o turno da noite recebe um adicional de 20%, tem-se:

Total global com salários e encargos de mão de obra direta:
 48.800×10^3 U.M./mês

6.6.1.2. Mão de obra indireta produtiva

Integram a mão de obra indireta produtiva os operários cujo trabalho é essencial à realização do processo produtivo mas não se encontram vinculados diretamente à ele. É o caso de mecânicos, encanadores, eletricitistas, encarregados, etc.

O número total de operários, relativos a esse item é de 12.

O montante em salários referente a essa categoria é de 22,5 salários mínimos por turno.

Gasto mensal com salários	7.000×10^3 U.M./mês
Encargos sociais (90% dos salários)	6.300×10^3 U.M./mês
Global mensal (salários + encargos)	13.300×10^3 U.M./mês

As considerações feitas foram as mesmas do item anterior.

São 3 turnos de trabalho, e um dos turnos (o da noite) recebe um adicional de 20%.

6.6.1.3. Pessoal administrativo

Ordenados mensais	5.930×10^3 U.M./mês
Encargos sociais (90% dos ordenados)	5.337×10^3 U.M./mês
Global mensal (salários + encargos)	11.267×10^3 U.M./mês

O pessoal administrativo trabalha apenas um turno por dia.

6.6.2. Necessidade de serviços: água, vapor, energia elétrica e outros

6.6.2.1. Água

Ainda de acordo com RAMAGE e RASMUSSEN (1943), a demanda de água no processamento de cebola, para indústrias que processam 50 ton/dia varia de 4.000 a 8.000 gal/h e para 100 ton/dia, esse valor aumenta para a faixa de 8.000 a 16.000 gal/h. Como, neste caso, são processadas cerca de 80 ton/dia, julgou haver uma necessidade média de 11.000 gal/h, que correspondem a 41.640 l/h. Com 24 h/dia de operação, tem-se em consumo total diário de 950.000 l/dia ou $950 \text{ m}^3/\text{dia}$. Em um mês, chega-se a $28.500 \text{ m}^3/\text{mês}$.

O preço do metro cúbico de água industrial, fornecido pela

SANASA de Campinas, é de Cr\$ 544,60. Como na região em que vai ser implantada a indústria, a água vai ser captada de um rio ou poços artesianos, e tratada adequadamente para seus diversos usos (processo, caldeira, sanitização, troca térmica, potável), vai-se considerar que o valor do m^3 , com esse tipo de captação, passa a ser equivalente a 1/3 do valor cobrado pela rede municipal (181,50 U.M./ m^3).

$$\begin{aligned} \text{Assim, gasto total mensal} &= 181,50 \text{ U.M./m}^3 \times 28.500 \text{ m}^3/\text{mês} \\ &= 5.173 \times 10^3 \text{ U.M./mês} \end{aligned}$$

6.6.2.2. Energia elétrica

Corresponderá ao consumo de energia da caldeira, do evaporador, do secador, prensa, das linhas de desidratação (excluindo o secador), da linha de evaporação e aos gastos com iluminação.

Foi estimada a necessidade horária de vapor e conclui-se que vai ser requerida uma caldeira com capacidade de produção de cerca de 3.500 kg/h de vapor. O consumo médio desse equipamento é de 1.600 kwh.

Os demais consumos referem-se ao evaporador (30 kwh), secador (13,5 kwh), prensa (15,0 kwh), linha de desidratação (140 kwh), linha de concentração (10,0 kwh), iluminação (30 kwh).

Tem-se então que o consumo total em energia será de 1.870 kwh.

Como não foi feita estimativa individual de potência consumida, a não ser para os equipamentos principais, julgou-se prudente colocar, além do consumo global, uma porcentagem de 8%, que corresponde a possíveis descon siderações feitas, eficiência, etc.

Então:

$$\text{Potência total consumida + fator de segurança} = 2.000 \text{ kwh.}$$

Fator de demanda:

É o que se paga pela instalação da potência requerida na indústria. É semelhante a aluguel e a empresa deve pagá-lo, quer utilizado ou não. Portanto, trata-se de um item componente do custo fixo.

Valor da demanda: Cr\$ 7.8×10^3 /kw instalado

Valor global = $7.8 \times 10^3 \frac{\text{Cr\$}}{\text{kw inst.}} \times 2.000 \text{ kwh}$

= $15,6 \times 10^6 \text{ U.M./mês}$

Valor global anual = $187 \times 10^6 \text{ U.M./ano}$

= $187.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$

Gastos de energia elétrica

Corresponde ao que se paga por kwh consumido mais os impostos. O valor unitário pago por (consumo + imposto) do kwh é de Cr\$ 34,96.

Gasto total mensal = $50.343 \times 10^3 \text{ U.M./mês}$

Gasto total anual = $302.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$

Observação: Aos usuários de caldeiras elétricas fornece-se energia elétrica por um preço subsidiado. Porém como só se conhece essa tarifa para o Estado de São Paulo, e o projeto pode vir a ser implantado em outras regiões, optou-se pelo uso das tarifas normais.

6.6.2.3. Vapor

Como o vapor é gerado por aquecimento elétrico, seu custo está incluído no item anterior, 6.6.2.2. Contudo para que "a posteriori" seja possível compará-lo aos demais custos, vai-se explicitar o montante correspondente. Seu custo unitário (cruzeiros/kg) também será determinado.

Energia consumida pela caldeira = 1.600 kwh.

Considerando-se que a eficiência das caldeiras elétricas é de 95%, tem-se que o gasto com energia elétrica para a mesma, será:

$$E. \text{ Elétrica caldeira} = 42.400 \times 10^3 \text{ U.M./mês}$$

Assim:

$$\text{Custo variável de produção do vapor} = 42.400 \times 10^3 \text{ U.M./mês}$$

O custo fixo de produção de vapor será calculado em função da razão existente entre demanda de energia da caldeira e demanda total de energia. Assim:

$$\text{Custo fixo de produção de vapor} = 12.480 \times 10^3 \text{ U.M./mês}$$

$$\text{Custo total da energia consumida na produção de vapor} = 54.900 \times 10^3 \text{ U.M./mês}$$

O custo unitário de produção de vapor será de Cr\$ 22,43/kg.

6.6.3. Matéria prima

Conforme comentários feitos no item 6.6.1., vão ser processadas 80 ton/dia de matéria prima. O período de safra da cebola é de cerca de 5 meses e considerando que é possível estocá-la à temperatura ambiente, sem grandes perdas, pelo período de 1 mês, o tempo total de operação da planta, processando cebola, será de 6 meses.

Na região produtora, segundo dados do jornal Correio Popular, de Campinas (27/05/1984) e valores comentados no noticiário de televisão da Rede Globo, Jornal Nacional, do dia 25/06/1984, o quilo da matéria prima está sendo comercializado por preços que variam de Cr\$ 100,00 a Cr\$ 300,00. Supor-se-á que o valor de compra da matéria prima do produtor será de Cr\$ 150,00/kg.

Desta forma, o insumo total mensal com matéria prima será:

$$\begin{aligned} \text{Matéria prima} &= 80 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \times 30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}} \times 150,00 \frac{\text{cruzeiros}}{\text{kg}} \\ &= 360.000 \times 10^3 \text{ Cr\$/mês} \\ &= 360.000 \times 10^3 \text{ U.M./mês} \end{aligned}$$

6.6.4. Depreciação

A depreciação corresponde a uma perda de valor de equipamentos e prédios em uso. Por outro lado, ao ser computada nos custos representa uma recuperação do investimento.

Segundo legislação vigente no país, os equipamentos depreciam-se em 10 anos e os prédios industriais em 30 anos. Em ambos os casos, a depreciação é linear.

Portanto:

Valor da depreciação dos equipamentos:	94.000×10^3 U.M./ano
Valor da depreciação dos prédios:	9.100×10^3 U.M./ano
Depreciação total	103.100×10^3 U.M./ano

6.6.5. Manutenção

Seu valor é correspondente a uma porcentagem do Investimento fixo total, normalmente de 3%, para indústrias deste ramo.

Valor da manutenção = 105.000×10^3 U.M./ano

6.6.6. Seguros

São equivalentes a cerca de 1% do Investimento fixo total.

Valor dos seguros: 35.000×10^3 U.M./ano

6.6.7. Impostos ao capital

Considera-se que correspondem a cerca de 1,5% do investimento fixo total. Assim:

Valor relativo a impostos = 52.500×10^3 U.M./ano

6.7. DIVISÃO DE CUSTOS ENTRE OS DOIS PRODUTOS E CUSTO DOS PRODUTOS

6.7.1. Determinação do custo fixo unitário

6.7.1.1. Custo fixo unitário comum aos dois produtos

Serão comuns, tanto para o suco concentrado como para o bagaço seco, os seguintes componentes do custo fixo:

- (1) Mão de obra indireta
- (2) Manutenção
- (3) Seguros
- (4) Impostos ao capital
- (5) Demanda de potência
- (6) Depreciação dos prédios

A somatória dos valores correspondentes a esses subitens será chamada de subtotal 1.

Subtotal 1: 646×10^6 U.M./ano + 10% Imprevistos

Subtotal 1: 710×10^6 U.M./ano = 710.000×10^3 U.M./ano

Considerando-se que a produção anual de suco concentrado será de 1.512.000 kg/ano e a de bagaço ou polpa seca de cebola, sob a forma principal de pó grosso, será de 642.600 kg/ano, tem-se que o custo fixo unitário (1), relativo ao subtotal (1), baseado na produção física (kg/ano), será:

$$(C.F.U.)_2 = 710.000 \times 10^3 \frac{\text{U.M.}}{\text{ano}} \times \frac{1}{2.154,6} \frac{\text{ano}}{\text{kg}}$$

$$(C.F.U.)_1 = 329,52 \text{ U.M./kg}$$

6.7.1.2. Custo fixo unitário ponderado para cada um dos produtos

Para o suco concentrado, considerar-se-ão para cálculo do subtotal 2, as seguintes proporções:

(1) 70% do valor da depreciação da prensa continua tipo "expeller" 4.240×10^3 U.M./ano

(2) depreciação integral do evaporador 45.600×10^3 U.M./ano

Assim subtotal 2 (suco concentrado) = 49.840×10^3 U.M./ano

$(CFU)_2$ para suco concentrado = $\frac{49.840 \times 10^3}{1.512 \times 10^3} = 32,96$ U.M./kg

Portanto já é possível estipular o custo fixo unitário relativo ao suco concentrado de cebola, que será igual à soma dos dois custos acima calculados.

$(C.F.U.)_{\text{suco concentrado}} = 362,5$ U.M./kg

Para o bagaço ou polpa seca entram na ponderação:

(1) 30% do valor da depreciação da prensa contínua tipo "expeller"

1.817×10^3 U.M./ano

(2) depreciação integral dos secadores

42.300×10^3 U.M./ano

Subtotal 3 = 44.120×10^3 U.M./ano

$(C.F.U.)_3$ bagaço seco = $\frac{\text{Subtotal 3}}{\text{produção anual bagaço seco}}$

$(C.F.U.)_3$ bagaço seco = $\frac{44.120 \times 10^3}{642,6 \times 10^3} = 68,66$ U.M./kg

Portanto $(C.F.U.)_{\text{bagaço seco}} = 398,2$ U.M./kg

6.7.2. Determinação do custo variável unitário

6.7.2.1. Custo variável unitário comum aos dois produtos

Serão comuns aos dois produtos os seguintes custos variáveis: o custo referente ao consumo de água e os custos relativos à mão de obra direta, que é envolvida até a etapa de prensagem.

Conforme cálculos feitos em 6.6.3., o gasto total mensal com água é de 5.173×10^3 U.M./mês.

Portanto custo total anual é de cerca de 31.500×10^3 U.M./ano

$$(C.V.U.)_1 \text{ água} = \frac{31.500 \times 10^3 \text{ U.M./ano}}{2.154,6 \times 10^3 \text{ U.M./ano}}$$

$$(C.V.U.)_1 \text{ água} = 14,62 \text{ U.M./kg}$$

De acordo com as necessidades de operários por linha de processamento mostradas no Apêndice, tem-se o seguinte custo relativo à mão de obra direta:

$$\text{Custo M.O.D. comum aos dois produtos} = 78.680 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

$$(C.V.U.)_2 \text{ M.O.D.} = \frac{235.800 \times 10^3 \text{ U.M./ano}}{2.154,6 \times 10^3 \text{ kg /ano}}$$

$$(C.V.U.)_2 \text{ M.O.D.} = 109,44 \text{ U.M./kg}$$

Parte da energia elétrica consumida é usada para iluminação industrial e para produção de vapor, que será utilizado para limpeza. Corresponde a 15% da energia consumida pela caldeira (240 kwh) e o restante é relativo a iluminação (135 kwh), perfazendo um total de 375 kwh.

$$\text{Valor global} = 56.640 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

$$(C.V.U.)_3 \text{ energia elétrica} = 26,29 \text{ U.M./kg}$$

6.7.2.2. Custo variável unitário ponderado para cada um dos produtos

Serão calculados ponderalmente os custos de energia elétrica, matéria prima e separadamente os custos de mão de obra direta relativos à etapa de evaporação em diante e de secagem em diante.

A porcentagem de rendimento da prensagem para cada linha é bastante semelhante à proporção de sólido seco nos produtos finais; corresponde à cerca de 2/3 para o suco concentrado e 1/3 para o bagaço ou polpa seca.

Linha de evaporação do suco:

Mão de Obra Direta

envolvida na concentração: 10.264×10^3 U.M./ano

incluindo encargos: 19.502×10^3 U.M./ano

$$(C.V.U.)_4 \text{ M.O.D. concentração} = 12,90 \text{ U.M./kg}$$

Energia Elétrica

35% da energia consumida pela caldeira é usada para produção de vapor, que alimentará o evaporador.

$$\text{Assim } 1600 \text{ kwh} \times 0,35 = 560 \text{ kwh}$$

70% da energia consumida pela prensa é empregada na obtenção do suco a evaporar

$$15,0 \text{ kwh} \times 0,70 = 10,5 \text{ kwh}$$

A energia elétrica do evaporador é utilizada integralmente

$$P_{\text{evaporador}} = 30 \text{ kwh}$$

Assim: consumo global de energia elétrica
na evaporação = 600 kwh

(C.V.U.) energia elétrica na concentração = 90.617×10^3 U.M./a

$$(C.V.U.)_5 \text{ energ. elét. concent.} = \frac{90.617 \times 10^3 \text{ U.M./ano}}{1.512 \times 10^3 \text{ kg /ano}}$$

$$(C.V.U.)_5 \text{ energ. elét. concent.} = 59,93 \text{ U.M./kg}$$

Custo da Matéria Prima

De acordo com os cálculos mostrados 6.6.3.:

$$\text{Insumo total mensal} = 360.000 \times 10^3 \text{ U.M./mês}$$

$$\text{Insumo total anual} = 2.160.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

A porcentagem relativa à produção de suco é de 70% da matéria prima. Assim:

$$\begin{aligned} \text{Custo total anual da matéria prima para concentração} &= \\ &= 1.512.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano} \end{aligned}$$

$$(C.V.U.)_6 \text{ matéria prima} = \frac{1.512.000 \times 10^3}{1.512 \times 10^3} \frac{\text{U.M./ano}}{\text{kg /ano}}$$

$$(C.V.U.)_6 \text{ matéria prima} = 1.000,00 \text{ U.M./kg}$$

Custo da Embalagem

$$\text{Custo total anual da embalagem} = 190.800 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

$$(C.V.U.)_7 \text{ embalagem} = \frac{190.800 \times 10^3}{1.512 \times 10^3} \frac{\text{U.M./ano}}{\text{kg /ano}}$$

$$(C.V.U.)_7 \text{ embalagem} = 126,20 \text{ U.M./kg}$$

Assim o custo variável unitário do suco concentrado será

igual a $\sum_{n=1}^7 (C.V.U.)_n$

$$(C.V.U.)_{\text{suco concentrado}} = 1349,40 \text{ U.M./kg}$$

Linha de secagem do bagaço

Mão de obra direta envolvida na secagem: $16.800 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$

Incluindo encargos: $31.910 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$

$$(C.V.U.)_1 \text{ M.O.D. secagem} = \frac{31.910 \times 10^3}{642,6 \times 10^3} \frac{\text{U.M./ano}}{\text{kg /ano}}$$

$$(C.V.U.)_1 \text{ M.O.D. secagem} = 49,65 \text{ U.M./kg}$$

Energia Elétrica

50% da potência da caldeira é usada para produção de vapor, que vai aquecer o ar dos secadores. Desta forma:

$$1600 \text{ kwh} \times 0,50 = 800 \text{ kwh}$$

30% da potência instalada da prensa é empregada na obtenção de bagaço, que posteriormente será seco

$$15,0 \text{ kwh} \times 0,30 = 4,5 \text{ kwh}$$

A potência do secador é totalmente usada

$$(13,5 \text{ kwh}) \times 3 \text{ secadores} = 40,5 \text{ kwh}$$

Consumo na linha de desidratação = 180 kwh

Consumo total na etapa de secagem = 1025 kwh

(Custo variável) energia elétrica na secagem = $(34,96) \times 1025 \times 24 \times 30 \times 6 = 155 \times 10^6 \text{ U.M./ano}$

$$(C.V.U.)_5 \text{ energia elétrica secagem} = \frac{155.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}}{642,6 \times 10^3 \text{ kg /ano}}$$

$$(C.V.U.)_5 = 241,2 \text{ U.M./kg}$$

Matéria Prima

$$\text{Insumo total anual: } 2.160.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

A porcentagem referente à obtenção de bagaço ou polpa úmida de cebola é de 30% da matéria prima. Assim:

$$\text{Custo da matéria prima para secagem: } 650.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

$$(C.V.U.)_6 \text{ mat. prima secagem} = \frac{650.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}}{642,6 \times 10^3 \text{ kg/ano}}$$

$$(C.V.U.)_6 \text{ mat. prima secagem} = 1011,5 \text{ U.M./kg}$$

Embalagem

$$\text{Considerar-se-ã correspondente a } 21.170 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

$$(C.V.U.)_7 \text{ embalagem} = \frac{21.700 \times 10^3 \text{ U.M./ano}}{642,6 \times 10^3 \text{ kg/ano}}$$

$$(C.V.U.)_7 \text{ embalagem} = 33,77 \text{ U.M./kg}$$

Portanto o custo variável unitário da polpa seca de cebola será a somatória de todos os custos variáveis explicitados

$$(C.V.U.)_{\text{bagaço seco}} = 1460,0 \text{ U.M./kg}$$

6.7.3. Determinação dos custos totais unitários

6.7.3.1. Suco concentrado

O custo total unitário de produção do suco concentrado de cebola, para a produção considerada, será igual à soma do custo fixo unitário e custo variável unitário de produção.

$$C.T.U. = C.F.U. + C.V.U.$$

$$C.T.U. = 362,5 + 1349,40$$

$$C.T.U. = 1712,0 \text{ U.M./kg}$$

6.7.3.2. Bagaço ou polpa seca

O custo total unitário de produção do bagaço seco será correspondente à soma do custo variável unitário e do custo fixo unitário.

$$C.T.U. = C.F.U. + C.V.U.$$

$$C.T.U. = 398,0 + 1460,0$$

$$C.T.U. = 1858,0 \text{ U.M./kg}$$

6.8. ANÁLISE DE PONDERAÇÃO

Entende-se por análise de ponderação a avaliação da influência dos diferentes itens que compõem o custo total, sobre esse mesmo custo. Ou seja, quais são os custos individuais que mais afetam os custos totais. A alteração desses custos e suas implicações no custo total também podem ser avaliadas através da análise de sensibilidade.

6.8.1. Avaliação da influência do custo da matéria prima

Nas indústrias de alimentos, o custo da matéria prima costuma ser um item de grande ponderação sobre o custo total. A avaliação será feita com relação a produto final.

$$\text{Custo matéria prima/kg produto final} = 1005,0 \text{ U.M./kg}$$

Custo final do produto = 1785,0 U.M./kg (Custo médio)

Esses dois custos são valores médios relativos aos dois produtos.

$$\text{Ponderação} = \frac{\text{custo matéria prima}}{\text{custo final produto}}$$

$$\text{Ponderação} = \frac{1005}{1785,0} = 56,3\%$$

Isto significa que o custo da matéria prima é responsável por 56,3% do valor final do custo total do produto.

Uma variação no custo da matéria prima sempre vai alterar, de maneira significativa, o custo total do produto final.

6.8.2. Avaliação da influência do custo da energia elétrica

Grande porcentagem da energia elétrica vai ser empregada para geração de vapor. O restante será usado para movimentação dos equipamentos e iluminação industrial. É um fator bastante relevante para a transformação da matéria prima e obtenção do produto final. A ponderação do custo total em relação ao custo da energia elétrica é:

$$\text{Ponderação} = \frac{176,85}{1785,0} = 10,0\%$$

Portanto o custo da energia elétrica é responsável por cerca de 10% do custo total do produto final.

6.8.3. Influência do custo da mão de obra

A mão de obra, nas condições vigentes no país, costuma ser um item de pequena ponderação no custo total de produto final.

Nessa análise feita, a demanda de mão de obra é considerável e por isso faz-se justificável avaliar a ponderação no custo total

tal do custo da mão de obra.

Assim:

$$\text{Ponderação} = \frac{\text{Custo de mão de obra direta}}{\text{Custo total de produto final}}$$

$$\text{Ponderação} = \frac{140,72}{1785,0} \quad \frac{\text{U.M./kg (produto final)}}{\text{U.M./kg (produto final)}}$$

$$\text{Ponderação} = 7,0\%$$

Portanto, comprova-se que a contribuição da mão de obra no custo total de produção é relativamente pequena, comparada aos demais parâmetros.

A oscilação desse custo, para valores menores ou maiores, não vai alterar muito o custo total do produto final. Há que se ressaltar porém que essas afirmações são válidas para alterações pequenas.

6.9. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Consiste em se avaliar a variação de ponderação de um item individual que compõe o custo total, em relação a esse custo total, quando o custo individual sofre incrementos positivos ou negativos.

6.9.1. Influência da matéria prima

Supondo-se que o industrial passará a adquirir a matéria prima do produtor pelo dobro do preço considerado nesse trabalho, tem-se que:

$$\text{Custo total anual da matéria prima: } 4.320.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

$$(\text{C.V.U.})_6 \text{ mat. prima suco} = \frac{3.024.000 \times 10^3}{1.512 \times 10^3} = 2.000,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

$$(C.V.U.)_6 \text{ mat. prima secagem} = \frac{1.296.000 \times 10^3}{642,6 \times 10^3} = 2.017,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

Portanto:

$$(\overline{C.V.U.})_{\text{mat. prima}} = 2.009,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

$$(\text{Custo Total})_{\text{suco}} = 2647,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

$$(\text{Custo Total})_{\text{bagaço}} = 2843,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

Assim:

$$(\overline{\text{Custo Total}}) = 2745,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

Então:

$$\text{Ponderação} = \frac{2009}{2745} = 73,2\%$$

Comparando-o com o valor calculado em 6.8.1., em que a ponderação do custo da matéria prima era de 56,3% tem-se que:

$$\Delta \text{ Ponderação} = \text{Sensibilidade} = 16,9\%$$

$$\text{Relação entre os dois custos totais} = \frac{2745,0}{1785,0} = 1,5$$

Para a matéria prima, a análise de sensibilidade revela que se a mesma passa a custar o dobro, sua ponderação nos custos totais será aumentada da ordem de 17% e a relação entre os custos totais mostra que o custo total atual (correspondente à matéria prima a Cr\$300,00/kg) é 1,5 vezes o custo total anterior.

6.9.2. Influência do custo dos secadores

Considerando-se que será possível obter secadores de fabricação nacional e que custem apenas metade do preço dos aqui emprega

dos, determinar-se-ã como essa mudança incidirã nos custos fixos e custos totais.

Em consequência, o investimento fixo em secadores serã de 212.000×10^3 U.M.

Assim o Investimento fixo total passarã a ser:

$$I_{\text{fixo total}} = 2.700.000 \times 10^3 \text{ U.M.}$$

$$\text{Custo Fixo Total} = 702.000 \times 10^3 \text{ U.M./ano}$$

$$(\overline{\text{C.F.U.}})_{\text{atual}} = 326,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

$$(\overline{\text{C.F.U.}})_{\text{anterior}} = 380,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

Desta forma, relacionando-se os dois custos fixos unitários, o atual e o anterior, verifica-se que o custo fixo unitário correspondente aos secadores ã metade do preço é relativo a 85% do custo fixo unitário anterior. Constata-se, assim, a pequena influência do custo dos secadores no valor do custo fixo.

Avaliando-se os custos totais unitários, chega-se a:

$$(\overline{\text{C.T.U.}})_{\text{atual}} = 1690,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

$$(\overline{\text{C.T.U.}})_{\text{anterior}} = 1785,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

A relação entre os dois custos totais unitários mostra que o atual corresponde a 95% do anterior. Nos custos totais unitários, a influência dos secadores a custos menores é ainda menos relevante que a encontrada para os custos fixos.

Não se fará a mesma análise para os evaporadores, por julgar-se que já são padronizados e que as chances de otimizã-los, seguindo um equipamento de custo mais baixo, são mínimas.

6.9.3. Influência da energia elétrica

Através da análise de ponderação foi possível avaliar-se a influência dos custos da energia elétrica no custo total. Se se considerar que a energia elétrica tem seu custo subsidiado e seu valor cai à metade do que é considerado no presente estudo, em 6.7.2.2., tem-se que:

$$\overline{(\text{C.V.U.})}_{\text{energia elétrica}} = 75,30 \text{ U.M./kg produto final}$$

$$\overline{(\text{C.T.U.})} = 1667,0 \text{ U.M./kg produto final}$$

$$(\text{Ponderação})_{\text{atual}} = \frac{(\text{Custo en. elétrica})_{\text{atual}}}{(\text{Custo total})_{\text{atual}}}$$

$$(\text{Ponderação})_{\text{atual}} = 4,5\%$$

Comparando-se à ponderação anterior, que era de 10,0% (seção 6.8.2), conclui-se, através da análise de sensibilidade, que com o custo subsidiado da energia elétrica, sua ponderação se reduzirá da ordem de 6%, o que pode ser considerado uma redução significativa.

6.10. CONCLUSÕES

Através da análise feita, foi possível se chegar às seguintes conclusões:

- (1) A relação entre custos fixos e variáveis encontrada nesse trabalho é característica de indústrias de alimentos. Os custos variáveis são mais elevados que os custos fixos, como pode ser visto em 6.7. Como em indústrias de alimentos dispendem-se grandes somas com matérias primas, estoque, energia elétrica, essa distribuição costuma ser a usual.

- (2) O custo do vapor, cujo cálculo é mostrado em 6.6.2.3., pode ser considerado baixo. Apesar de não terem sido feitos cálculos referentes a vapor produzido em caldeiras a óleo, sabe-se que este último costuma custar 2 (duas) vezes mais que o vapor gerado por aquecimento elétrico.
- (3) Os gastos com energia elétrica são grandes. Uma possível opção para baratear esse custo, não analisada aqui, seria a de se empregar secadores, cujo ar fosse aquecido eletricamente. Isso diminuiria o consumo de vapor sensivelmente, implicando no uso de uma caldeira de menor potência. Além disso, o aquecimento direto do ar do secador por eletricidade não requer demandas energéticas tão altas, como as da opção aqui avaliada.
- (4) Através da análise de ponderação, verificou-se que o custo de maior peso é o custo da matéria prima.
- (5) Com a análise de sensibilidade foi possível constatar que se o preço da matéria prima dobrar, a sua ponderação sobre os custos totais aumenta da ordem de 17% e o custo total unitário sofre um aumento equivalente a 1,5 vezes o custo considerado no estabelecimento do processo.

A diminuição dos custos dos secadores, que é uma proposta viável caso se otimize seu projeto, não é relevante, levando a relação pouco significativa para os custos fixos e custos totais unitários, ou seja, a alteração ocasionada nas ponderações foi muito pequena.

A redução na ponderação relativa ao item energia elétrica, quando se considerou tarifa subsidiada, foi significativa, da ordem de 6%. É conveniente ressaltar que a ponderação anterior era de 10%.

(6) Considerando-se que no mês de abril de 1984 (final do período da entresafra) o quilo de cebolas chegou a custar Cr\$ 1.200,00, os custos do bagaço seco e suco concentrado aqui calculados são aceitáveis e mesmo acrescentando-se o lucro, para comercialização, julga-se que é compensadora a aquisição desses produtos. (Lembrar que 1 kg de produto seco e/ou concentrado correspondem a cerca de 7 kg de cebola fresca).

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1. CONCLUSÕES

.1 O processo global de obtenção de suco concentrado e bagaço seco de cebola é tecnicamente viável.

.2 O dimensionamento do processo mostrou que a produção em escala industrial leva a dois produtos com custos finais razoáveis. A análise foi elaborada considerando apenas os custos, por não haver informações disponíveis quanto ao mercado dos produtos.

.3 Ambos os processos de prensagem utilizados, contínuo comercial e descontínuo em escala piloto, revelaram-se adequados, originando-se nos mesmos, porcentagens similares de suco e bagaço, a teores de sólidos bastante próximos.

.4 Tanto um aumento na pressão aplicada como no tempo de aplicação resultou em aumento na eficiência de prensagem, avaliada através de rendimento em suco.

.5 As equações desenvolvidas por WORTHINGTON et alii (1954), correlacionando pressão e tempo à eficiência de prensagem, são válidas quantitativamente para os parâmetros em avaliação.

.6 Para estabelecer o efeito da pressão também foi considerada válida a correlação de KÖRMENDY (1972), que mostra a concordância com seus resultados em escala laboratorial.

.7 Para a operação descontínua foi possível estabelecer-se que o valor ótimo de carga foi de cerca de 23 kg/m^2 e que os insumos energéticos calculados para essa operação são bastante próximos aos citados na bibliografia, revelando ser a prensagem um método de remoção de água com consumo muito baixo de energia.

.8 Através do desenvolvimento da etapa de concentração, verificou-se que a atividade enzimática na cebola continua durante o processo de evaporação, com geração de odor.

.9 Foi possível, pelas análises feitas, chegar-se a uma relação entre odor nos produtos/odor no suco de expressão. A temperatura empregada que deu maior geração de odor foi 60°C.

.10 No suco concentrado, a concentração de odor manteve-se inalterada durante o tempo de avaliação, sofrendo redução na maioria dos outros materiais analisados.

.11 Empregou-se, na secagem do bagaço, um secador de bandejas, que é o equipamento mais usado para secagem de cebolas em fatias. Os resultados foram satisfatórios.

.12 O estudo da variação dos parâmetros temperatura e velocidade do ar permitiu que fossem estabelecidas, dentre as condições analisadas, como mais adequadas para secagem do bagaço, a temperatura de 55°C e a velocidade do ar de 1,0 m/s.

.13 A avaliação do parâmetro variação de carga, por ter levado a resultados inconsistentes, não possibilitou o estabelecimento da carga mais adequada de bandejas, para o material em pesquisa. Porém, através da análise da taxa global de secagem, considerou-se como condição mais aconselhável de desidratação a que segue: velocidade do ar de 1,0 m/s, temperatura de 55°C e carga de bandejas de 11,2 kg/m².

.14 Com o uso dessa condição ótima, chegou-se a um produto com umidade final de aproximadamente 6% em um tempo algo menor que 3 horas.

.15 O bagaço seco foi comparado, sensorial e quimicamente, à cebola em fatias desidratada e à cebola "in natura", para julgamento de sua qualidade. A análise sensorial conferiu ao bagaço desidra-

tado a pontagem mais baixa, nas três características avaliadas: odor, sabor e textura, revelando que o produto difere significativamente da cebola em fatias desidratada e da cebola "in natura".

.16 A avaliação química de odor, feita através do teste de piruvato, mostra que o bagaço seco conserva melhor o seu odor (em termos de concentração de ácido pirúvico) que a cebola desidratada em fatias.

.17 O dimensionamento do processo e análise de custos feita demonstrou a fatibilidade de se produzir bagaço seco e suco de cebola concentrado a custos razoáveis. Nosso processo pode ser desenvolvido com equipamentos de fabricação nacional.

.18 A distribuição de custos é característica de indústrias de alimentos, sendo os custos variáveis muito mais elevados que os fixos.

.19 A análise de ponderação e de sensibilidade baseada em custos e realizada para os itens de maior ponderação mostrou que a matéria prima é o fator de maior influência.

.20 Os gastos com energia elétrica são altos. Tanto que quando se procedeu à análise de sensibilidade, verificou-se, ao considerar tarifa subsidiada, que houve uma redução da ordem de 6% na ponderação.

.21 Por não se dispor de preços de vendas dos produtos, calculou-se a relação entre custos e investimentos (ao invés da relação entre vendas e investimento) e essa foi equivalente a $0,75 \text{ ano}^{-1}$.

7.2. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Sugere-se que, no desenvolvimento de trabalhos semelhantes, sejam observadas as seguintes considerações:

.1 A revisão bibliográfica mostrou existir, na área de expressão ou prensagem uma lacuna considerável quanto à correlações e equações desenvolvidas que se adequem a materiais celulares, como são os alimentos. Assim, em trabalhos futuros, é aconselhável que se busquem desenvolver correlações, que retratem melhor a relação entre material e operação.

.2 Ao se trabalhar com concentração de alimentos ricos em voláteis, pretendendo-se a avaliação de sua potência odorífica, deve-se sempre aliar aos testes de concentração de odor, aqui referidos, análises cromatográficas dos produtos em estudo, para que através de perfis cromatográficos, sejam confirmados os resultados obtidos.

.3 Julga-se conveniente que, em trabalhos posteriores, se estude mais aprofundadamente na operação de secagem o parâmetro variação de carga. Seria aconselhável, ainda, que uma faixa mais ampla de velocidades do ar fosse testada. Quanto à temperatura, o ideal seria que a condição que se tentou estabelecer como ótima nesse estudo, seja tratada com maior detalhamento. Há necessidade de se realizar mais corridas em que no início se empregue temperatura inicial de secagem mais alta, quando a umidade é do tipo não ligada, com posterior decréscimo da mesma quando a umidade passa a ser ligada. Nesta pesquisa foram utilizadas temperaturas de 70 e 55°C, porém como as curvas de secagem respectivas apresentaram deformações, não foi possível defini-la condição ótima.

.4 A análise sensorial e os testes de piruvato realizados com o bagaço seco mostraram resultados discrepantes. Julga-se, portanto, conveniente, que sempre que se avalie qualidade de produtos desidratados de cebola ou alho se alie análise sensorial e química. A realização de apenas um dos testes pode levar a conclusões incompletas.

.5 Analisando-se o dimensionamento do processo verifica-se que os custos de grande ponderação são matéria prima e energia elétrica. Quanto à energia elétrica, existem pelo menos duas opções não analisadas aqui, que talvez levassem a um menor consumo. A primeira seria a de usar secadores com ar aquecido eletricamente. No estudo apresentado o ar é aquecido a vapor, que é produzido em caldeira elétrica. Essa modificação implicaria em uso de caldeira de menor potência; o ar aquecido diretamente também requer demandas menores e conseqüentemente haveria redução nesses custos.

.6 Outra modificação no processo, a ser analisada futuramente seria a de se submeter a cebola triturada a uma reprensagem, posterior à etapa de prensagem. Conseguir-se-ia, então, um bagaço de menor umidade, acarretando uma diminuição no número de secadores e exigindo apenas um pequeno aumento na capacidade do evaporador. Em decorrência, diminuiriam os gastos com energia elétrica, pois a potência da segunda prensa é menor que a do secador e a necessidade de vapor para o processo de secagem seria bem menor. O aumento na capacidade do evaporador não requer grande quantidade extra de energia e essa redução nos custos fixos (menor número de secadores) e nos custos operacionais (menor consumo e demanda de energia elétrica) iriam resultar num custo total do bagaço ainda mais aceitável que o encontrado aqui, sem prejuízo da qualidade do produto.

Sugere-se ainda que o material submetido à reprensagem receba um tratamento pectolítico, como o feito por SCHALLER e KNORR (1975), para permitir que a exudação do líquido ocorra mais facilmente.

.7 Investigações com secadores contínuos, que exigiriam maior investimento, talvez resultassem em menores custos operacionais e por isso aconselha-se sua análise.

.8 O emprego de secadores que requerem menor tempo de residência pode levar à obtenção de um bagaço seco de melhor qualidade.

.9 Sugere-se o estudo do processamento de outras matérias primas na época de entre-safra de cebola, visto que resultaria em diminuição dos custos fixos e aproveitamento mais intensivo da mão de obra.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURA DE LAS AMÉRICAS, 1977 Cebolla en grandes extensiones: productores tecnificados que compitem mundialmente 26(6): 34.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, 1936 Standard methods for the examination of water and sewage 8.^a edição Lancaster Press, Inc. Lancaster 309 p Part I Section VII: 15.

BLUMENTHAL, S., 1947 Food Products Chemical Publishing Co., Inc., N.Y. 986 p. Cap IX p. 573.

BOMBEN, J.L.; BRUIN, S. e THIJSSSEN, H.A.C., 1973 Aroma recovery and retention in concentration and drying of foods Adv. Food Res. 20:1.

BRODNITZ, M.H. *et alii*, 1978 Flavor components of onion oil J. Agric. Fd. Chem. 17(4): 760.

BROUGHTON, D.B., 1945 Drying of solids: prediction of critical moisture content Ind. Eng. Chem. 37(12): 1184.

BUFFINGTON, D.E. e GUSTASHAW, J.C.Jr., 1975 Salability of onions as influenced by vacuum curing and storage in three different environments Florida State Horticultural Society 88:254.

CANNON, M.W., 1978 New dryer for vegetables Fd. Technol. in New Zealand 13(9): 28.

CARSON, J.F. e WONG, F.J., 1961 The volatile flavor components of onions Agric. Fd. Chem. 9(2):140.

CHIRIFE, J. *et alii*, 1982 Water activity of fresh foods J. Fd. Sci. 47(2):661.

- CHUPAKIN, V. e DORMENKO, V., sem data Fish Processing Equipment
Mir Publishers, Moscou 531 p. Cap. 7:465.
- CORREIO POPULAR, 1984 Agricultores nordestinos são contra a importa-
ção de cebola Campinas, 27 maio 2º Caderno Secção de Economia
p. 16.
- CRUESS, W.V., 1973 Produtos Industriais de Frutas e Hortaliças Edi-
tora Edgard Blucher, SP, 446 p., Cap. 3:41.
- DELNIKOVA, S.M. e DUPUY, P., 1973 Sanitation of onion powder by ir-
radiation and heating Acta Alimentaria 2(2):181.
- DEMAUX, M. e TACCARD, M., 1977 La pulpe sèche et les économies d'ener-
gie Industries Alimentaires et Agricoles 94(7/8):737.
- ENDO, A. *et alii*, 1977 Estimation of critical moisture content
AIChE Symposium Series 73(163):57.
- FARAG, R.S. *et alii*, 1981 Biochemical studies on some chemical char-
acteristics of sliced Egyptian onions J. Fd. Sci. 46(5):1394.
- FINZER, J.R.D., 1984 Secagem de cebolas em leito vibro fluidizado
Tese de Mestrado em Engenharia de Alimentos Orientador: T.G.KIECK
BUSCH Campinas 134p.
- FOOD PROCESSING INDUSTRY, 1981 The onion story 50(595):22.
- FSTA, 1969 a 1983 FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY ABSTRACTS, Vol.1 a 15.
- FOOD TRADE REVIEW, 1981 New BBA Plant offers total flavour product
51(6):290.
- FOUST, A.S. *et alii*, 1960 Principles of Unit Operations 2ª edição,
John Wiley and Sons, Inc. 578p. Cap. 18.

- FREEMAN, G.G. e WHENHAM, R.J. 1974 Changes in onion (*Allium cepa* L) flavour components resulting from some post harvest processes J. Sci. Fd. Agric. 25(5): 499.
- GEE, M., FARKAS, D. e RAHMAN, A.R., 1977 Some concepts for the development of intermediate moisture foods. Fd. Technol. 31(4):58.
- GOWDA, S.J. e GUPTA, C.P., 1976 Design and development of a cabinet dehydrator based on dehydration characteristics of onions 1st International Congress on Engineering and Food, Session 13: Process and Processing Equipment, Boston, 127.
- GURNHAM, C.F. e MASSON, H.J., 1946 Expression of liquids from fibrous materials Ind. Eng. Chem. 38(12):1309.
- HARMATHY, T.Z., 1969 Simultaneous moisture and heat transfer in porous systems with particular reference to drying Ind. Eng. Chem. Fundamentals 8(1):92.
- HAWTHORN, J., 1967 The Organization of Quality Control em Quality Control in the Food Industry de S.M. Herschdoerfer 4.^a edição, Academic Press Inc., Londres Vol. 1 Cap 1:1.
- HOUGEN, O.A., 1934 Rate of Drying Chrome Leather Ind. Eng. Chem. 26(3):333.
- HUTH, H., 1972 Sterile onion juice U.S. Patent 3.645.756 Feb., 29.
- INFORME AGROPECUÁRIO, 1980 Cebola: autosuficiência e normalização do abastecimento 6(62):2 e 81.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1981 Dehydrated Onion - Specification: International Standard, ISO 5559, 2313.
- KEEY, R.B., 1972 Drying: Principles and Practice Pergamon Press, Oxford 358 p, Cap. 12:307.

- KENNY, A., 1974 Onion and onion products Farm and Food Research 4(4):85.
- KIRKWOOD, K.C. e MITCHELL, T.J., 1965 Prediction of the drying times of porous granular materials. J. Appl. Chem. 15(6): 256.
- KOO, E.C., 1942 Expression of vegetable oils Ind. Eng. Chem. 34(3): 342.
- KÖRMENDY, I., 1964 A pressing theory with validating experiments on apples J. Fd. Sci. 29(5):631.
- KÖRMENDY, I., 1972 New apparatus to study pressing process, experimental and evaluation methods, correlation between pressure and equilibrium juice yield in the case of apple pulp Acta Alimentaria 1(2/3):315.
- KRAMER, A. e TWIGG, B.A., 1966 Fundamentals of Quality Control for the Food Industry The AVI Publishing Company, Inc, Westport Vol. 1, Cap. 2:10.
- LANGERAK, D.I., 1975 The influence of irradiation and packaging on the keeping quality of prepared cut endive, chicory and onions Acta Alimentaria 4(2):123.
- LEITE, R.S. *et alii*, 1982 Estudo técnico-econômico para implantação de uma unidade para produção industrial de cebola e pimenta desidratadas Estudos Econômicos: Alimentos Processados Instituto de Tecnologia de Alimentos nº 15, 80p, Campinas.
- LEWIS, N.F. *et alii*, 1977 Antibacterial activity of volatile compo-

- nents of onion (*Allium cepa* L) J. Fd. Sci. Technol. 14(1):35.
- LUKES, T.M., 1959 Pinking of onions during dehydration Fd. Technol. 13(7):391.
- MARSHALL, W.R. Jr., 1959 Drying: its status in chemical engineering in 1958 CEP Symposium Series 55(25):213.
- MASCARENHAS, M.H.T., 1980 Origem e botânica da cebola Inf. Agropec. 6(62):15.
- MATHISMOEN, P., 1977 Screw press for beet trash and press water fines Sugar Journal 39(11):28.
- MAZZA, G., 1980 Relative volatilities of some onion flavour components J. Fd. Technol. 15(1):35.
- MAZZA, G. e LEMAGUER, M., 1978 Water sorption properties of yellow globe onion (*Allium cepa* L) Can. Inst. Food Sci. Technol. 11(4):189.
- MAZZA, G. e LEMAGUER, M., 1979 Volatiles retention during the dehydration of onion (*Allium cepa* L) Lebensm.-Wiss.u. Technol. 12(6):333.
- MAZZA, G. e LEMAGUER, R.M., 1980 Dehydration of onion: some theoretical and practical considerations J. Fd. Technol. 15(2):181.
- MURAYAMA, S., 1971 Horticultura, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola 321 p., Campinas, Cap. 4:213.
- NOYES, R., 1969 Dehydration processes for convenience foods Food Processing Review nº 2, N.J., Noyes Development Corporation:245.
- ORR, C., 1977 Filtration: Principles and Practices Part I Marcel Dekker, Inc, N.Y. 534 p., Cap. 5:431.

- PETERS, M.S. e TIMMERHAUS, K.D. 1968 Plant Design and Economics for Chemical Engineers 2.^a edição, Mc Graw-Hill, Inc., N.Y. 850 p. Cap. 4:90.
- PIRIE, N.W., 1976 Food from Waste: Leaf Protein em G.G. Birch Food from Waste, Applied Science Publishers, Ltd, Londres, 301 p. Cap. 12:180.
- PITT, R.E. *et alii*, 1982 Design criteria for a forage plant fractionation press Trans. ASAE 25(1):18.
- RAMAGE, R.D. e RASMUSSEN, C.L., 1943 This is what it costs to dehydrate vegetables Food Industries 15(6):64, 15(7):66 e 15(8):75.
- RELATÓRIO FIPEC, outubro 1982 a maio 1983 Convênio: UNICAMP - FEAA/B.B. - FIPEC Estudo de métodos de conservação de cebola cultivada na região de Sorocaba - SP Coordenador: T.G. KIECKBUSCH.
- SATURNINO, M.A.C. e TAVARES, C.C.P., 1980 Aspectos econômicos da cultura de cebola Inf. Agropec. 6(62):3.
- SCHALLER, A., 1979 Results of studies on the multiple connection of dynamic viscosity, soluble solids concentration and temperature of onion juice concentrates Confructa 24(3/4):99 (em alemão).
- SCHALLER, A. e KNORR, D., 1975 Results of investigations on the correlation between juice yield by draining and juice yield by pressing of prepared onions, black currants and apricots Confructa 20(1):10 (em alemão).
- SCHWARTZBERG, H.G. *et alii*, 1977 The removal of water by expression AIChE Symposium Series 73(163):177.
- SCHWIMMER, S., 1968 Enzymic conversion of trans(+)-S-1 propenyl-L-cysteine S-oxide to the bitter and odor-bearing components of onion

Phytochemistry 7:401.

SCHWIMMER, S., 1969 Characterization of S-propenyl L-cysteine sulfoxide as the principal endogenous substrate of L-cysteine sulfoxide lyase of onion Arch. Biochem. Biophys. 130:312.

SCHWIMMER, S. *et alii*, 1964 Relations between pyruvate content and odor strength of reconstituted onion powder Fd. Technol. 18(8): 1231.

SCHWIMMER, S. e GUADAGNI, D.G., 1962 Relation between olfactory threshold concentration and pyruvic acid content of onion juice J. Fd. Sci. 27(1):94.

SCHWIMMER, S. e WESTON, W.J., 1961 Enzymatic development of pyruvic acid in onion as a measure of pungency Agric. Fd. Chem. 9(4): 301.

SHERWOOD, T.K. e GILLILAND, E.R., 1933 Diffusion equation for the period of constant drying rate Ind. Eng. Chem. 25(10):1134.

SHIRATO, M. *et alii*, 1971 Analysis of expression operations J.Chem. Eng. Japan 4(3):263.

SHISHIDO, I. *et alii*, 1979 The critical moisture content and the characteristic drying curve of granular material Int. Chem. Eng. 19(3):491.

STROP, H.R. e BRIGGS, G.O., 1974 Rubber handling: crumb to bale Hydrocarbon Processing 53(3):79.

SUZUKI, M. *et alii*, 1977 On the characteristic drying curve AIChE Symposium Series 73(163):47.

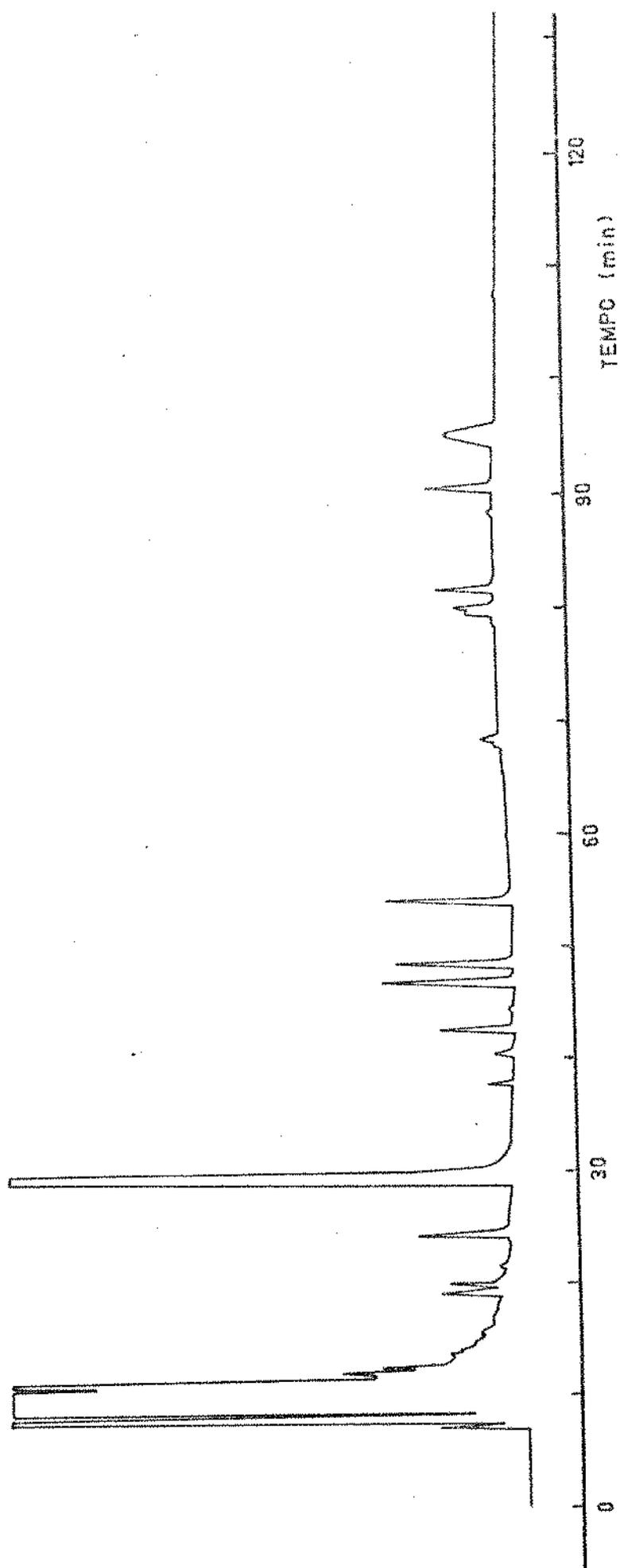
SWEAT, V.E., 1974 Experimental values of thermal conductivity of selected fruits and vegetables J. Fd. Sci. 39(6):1080.

- TAO, L.C. e CHANG, H.D., 1981 Correlations of enthalpies of food systems J. Fd. Sci. 46(5): 1493.
- THIJSSSEN, H.A.C., 1970 Concentrations processes for liquids foods containing volatile flavours and aromas J. Fd. Technol. 5(3):211.
- THIJSSSEN, H.A.C. e RULKENS, W.H., 1968 Retention of aromas in drying food liquids. Ingenieur (Haia, Holanda) 80: cH 45.
- TREYBAL, R.E., 1955 Mass Transfer Operations Tóquio, Mc Graw-Hill, Kogakusha Company, Inc. 666 pag. Cap. 12:524.
- TV BANDEIRANTES, 1982 Jornal Bandeirantes 15/04.
- UNIVERSIDAD DE CHILE, 1974 Facultad de Ciencias Químicas Tabla de Composición Química de Alimentos Chilenos 5.^a edición Tabla nº 1: Composición Química de Alimentos Chilenos pag. 22.
- VAN ARSDEL, W.B. e COPLEY, M.J., 1964 Food Dehydration Volume II Products and Technology The AVI Publishing Company, Inc., Westport 721 p. Cap. 13:266.
- VILBRANDT, F.C. e DRYDEN, C.E., 1959 Chemical Engineering Plant Design 4.^a edição, Tóquio, Mc Graw-Hill Kogakusha Company, Inc., 534 p. Cap. 3:40.
- WALAS, S.M., 1959 Reaction kinetics for chemical engineers Tóquio, Mc Graw-Hill Kogakusha Company, Inc. 338 p. Cap- 1:3.
- WHITAKER, J.R., 1976 Development of flavor, odor and pungency in onion and garlic Adv. Fd. Res. 22:73.
- WISNIAK, J. *et alii*, 1967 Brit. Chem. Eng. 12(10): 1590 através de P.Y. Mc CORMICK em Annual Review: Drying Ind. Eng. Chem. 60(11): 52 1968 (Ref. 49).

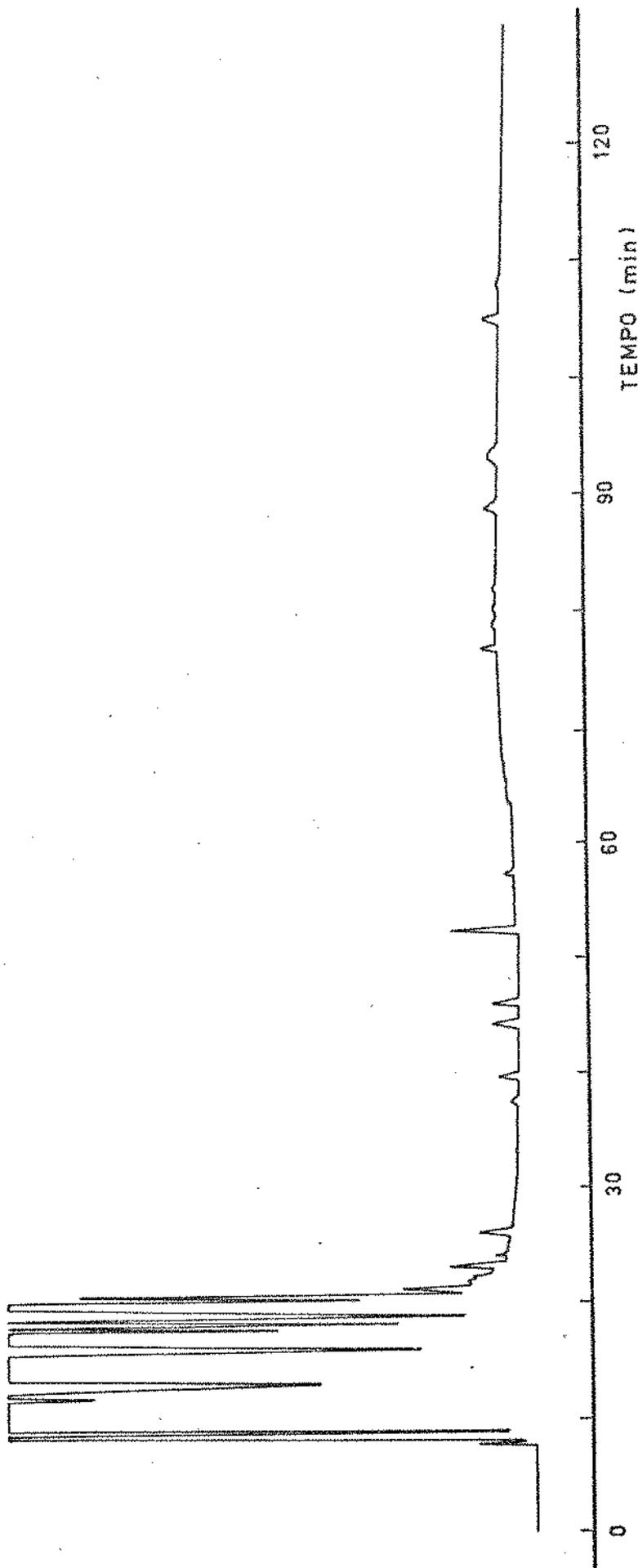
WORTHINGTON, O.J. *et alii*, 1954 Expression of oil from dried fish meal Agric. Fd. Chem. 2(18): 946.

APÊNDICE A

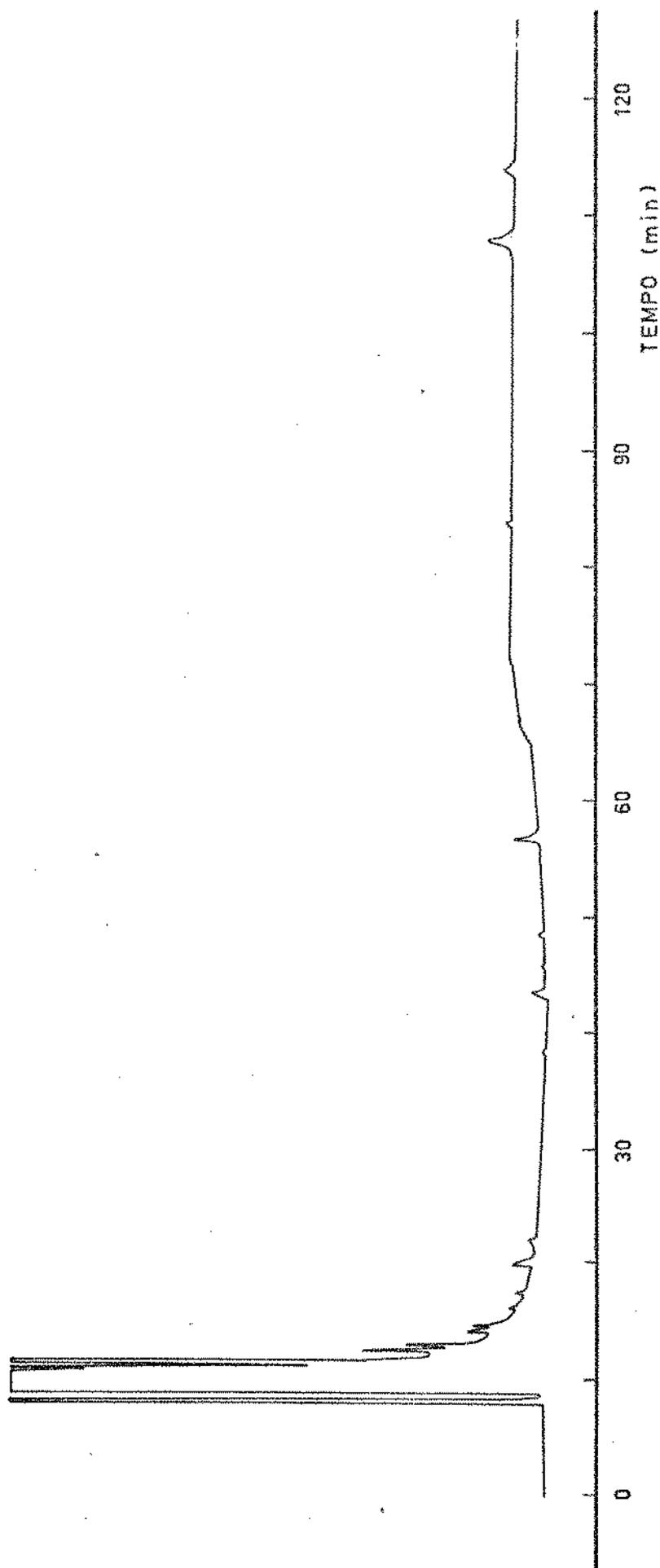
CROMATOGRAMAS DE SUCO SIMPLES, SUCO CONCENTRADO E EVAPORADO DE
CEBOLA



CROMATOGRAFIA GASOSA - Cebola "in natura"



CROMATOGRAFIA GASOSA - Suco concentrado



CROMATOGRAFIA GASOSA - Destilado

APÊNDICE B

MÉTODO DE DETERMINAÇÃO DE ÁCIDO PIRÓVICO EM CEBOLAS "IN NATURA"
E DESIDRATADAS - CURVA PADRÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO PIRÓVICO

B.1. Procedimento para cebola "in natura"

Foram liquidificadas com igual peso de água, 400 a 700 g de amostra, por um tempo que variou de 3 a 5 min.

A 5 g do triturado (em duplicata) foram adicionados 5 ml de ácido tricloroacético a uma concentração de 5%. Deixou-se a solução em repouso por 1 hora.

Foi feita filtração sob vácuo, com papel Whatman nº1 e Celite e o funil foi lavado com água até se atingir 200 ml.

Com esse filtrado foi feita a reação colorimétrica: a 1 ml do filtrado adicionou-se 1 ml de 2,4 dinitrofenilhidrazina.

Deixou-se por 10 minutos a 37°C e a seguir foram adicionados 5 ml de NaOH 0,6 N.

B.2. Procedimento para cebolas desidratadas:

Foram pesadas e a seguir moídas, 2 g de cebolas desidratadas (em duplicata). A uma das amostras, foram adicionados 25 ml de água (P_w) e a outra adicionaram-se 10 ml de ácido clorídrico 0,1 N e 25 ml de água (P_a). Deixou-se em repouso por 45 minutos. As amostras foram então transferidas para frascos de 500 ml, contendo 300 ml de água e agitadas por 15 minutos.

A amostra em que se adicionou apenas água, foram adicionados 10 ml de ácido clorídrico 0,1 N.

Completou-se o volume de ambos para 500 ml e procedeu-se à centrifugação, com o intuito de clarificar as amostras.

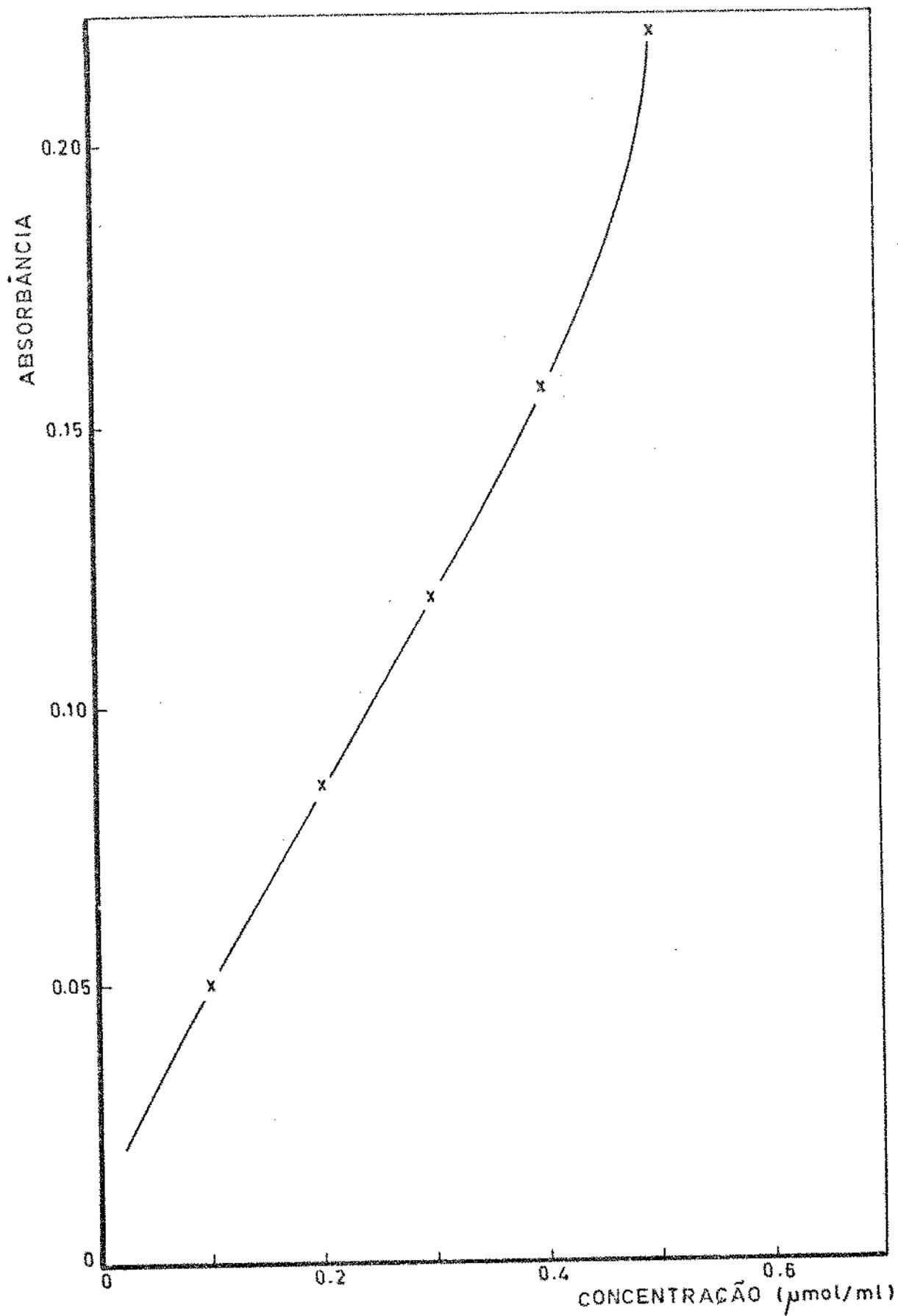
A reação colorimétrica foi feita com o extrato clarificado, tomando-se 2 ml desse, e juntando-se 2 ml de solução de dinitrofenilhidrazina 0,0125% em HCl 2 N e 2 ml de água. Os tubos permaneceram a 37°C por 15 minutos e sofreram adição de 10 ml de NaOH 0,6 N.

Ambas as amostras foram lidas em espectrofotômetro, com comprimento de onda a 420 nm.

A concentração em moles de ácido pirúvico das amostras é conhecida através da curva padrão de piruvato de sódio. Foram preparadas soluções com as concentrações de 0,5, 0,4, 0,3, 0,2 e 0,1 mol/ml de piruvato de sódio. A cada ml dessas soluções foi adicionado 1 ml de 2,4 dinitrofenilhidrazina 0,0125% em HCl 2 N, que foi então tratada a 37°C por 10 minutos.

A seguir foram adicionados 5 ml de NaOH 0,6 N e a absorbância foi lida com espectrofotômetro a 420 nm.

B.3. Curva Padrão da Concentração de Ácido Pirúvico



APÊNDICE C

DEMANDA PESSOAL

NECESSIDADE DE OPERÁRIOS NAS LINHAS DE PRODUÇÃO

C.1. Linha comum aos dois produtos

Função	Número de operários	Salário mensal
Alimentação da linha de produção	2/turno	1 sal. mín.
Recorte	50/turno	1 sal. mín.
Pelagem	4/turno	1 sal. mín.
Inspeção	4/turno	1 sal. mín.
Lavagem	3/turno	1 sal. mín.
Alimentação do moedor	2/turno	1 sal. mín.
Alimentação e controle da prensa	1/turno	1,5 sal. mín.

C.2. Linha de produção do suco concentrado

Função	Número de Operários	Salário Mensal
Controle do evaporador	1/turno	1,5 sal. mín.
Fechamento dos tambores e controle de peso	2/turno	1 sal. mín.
Encaixotamento e Expedição	2/turno	1 sal. mín.

C.2. Linha de produção do bagaço seco

Função	Número de Operários	Salário Mensal
Colocação nas bandejas	2/turno	1 sal. mín.
Controle do secador	2/turno	1,5 sal. mín.
Acabamento final, inspeção e expedição	4/turno	1 sal. mín.

C.3. Necessidade de mão de obra indireta produtiva

Função	Número de Operários	Salário Mensal
Auxiliar de Laboratório	1/turno	1,5 sal. mín.
Controlador de linha	1/turno	1 sal. mín.
Caldeirista	1/turno	1,5 sal. mín.
Mecânico	2/turno	2 sal. mín.
Eletricista	1/turno	2 sal. mín.
Encanador	1/turno	2 sal. mín.
Responsáveis pela limpeza	2/turno	1 sal. mín.
Encarregado	1/turno	5 sal. mín.

C.4. Pessoal Administrativo

Função	Número de Funcionários	Salário Mensal
Responsável pelo laboratório	1	4 sal. mín.
Responsável pelo almoxarifado	1/turno	3 sal. mín.
Responsável pelo estoque	1/turno	3 sal. mín.
Comprador de matéria prima	1	4 sal. mín.
Recepcionista	1	2,5 sal. mín.
Telefonista	1	2,5 sal. mín.
Secretária	1	5 sal. mín.
Contador	1	6 sal. mín.
Eng. de Alimentos	1	10 sal. mín.
Gerente Geral	1	15 sal. mín.

APÊNDICE D

COTAÇÕES DOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS DE PROCESSO

Proposta Nº 562/83

Folha 01 de 05

Data: 23 de junho de 1983

Condições de Pagamento



GULMAC
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

AVENIDA 2 - 2º DISTRITO INDUSTRIAL
CAIXA POSTAL Nº 486
CEP 14800 - ARARAQUARA - SP - BRASIL
FONE: (0162) 22-4300 (PARX)
TELEX: (0166) 234 - GULP BR
C G C 44 089 133/0001-90
INSC. ESTADUAL 181034746

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
E AGRÍCOLA.
Cidade Universitária - "Zeferino Vaz"
Barão Geraldo - Campinas, SP
Att. Engº Oscar Fataccioli Palacios
Prof. Herbert G. Wirth

DESCRIÇÃO

EVAPORADOR T.A.S.T.E. DE 2.250 KG/HORA DE
CAPACIDADE, COM 3 EFEITOS E 4 ESTÁGIOS, CONSISTENTE DE:

- 3 (tres) Pré-aquecedores, um por efeito
- 4 (quatro) Estágios completos, com cones de alimentação e coletores de descarga.
- 4 (quatro) Separadores centrífugos com tangenciais de interligação superiores e inferiores.
- 1 (um) Reaquecedor para os dois últimos estágios do efeito.
- 1 (um) "Flash cooler", com ejetor de vapor.
- 1 (um) Condensador barométrico de contato direto, com linhas de alimentação e descarga de água.
- 1 (um) Sistema de remoção de ar de dois estágios, utilizando ejetores de vapor com intercondensador tipo barométrico, completo, com linhas de alimentação e descarga de água.
- 1 (uma) Bomba centrífuga de alimentação.
- 4 (quatro) Bombas centrífugas de transferência.
- 1 (uma) Bomba centrífuga para remoção dos condensados do vapor de suco.
- 1 (uma) Bomba de deslocamento positivo, com redutor de velocidade variável, de ajuste manual, para remoção de concentrado do "flash cooler".

Proposta Nº 562/83
Folha 02 de 05
Data: 23 de junho de 1983
Cliente: Universidade Estadual de
Campinas.

GULMAC
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

- 1 (um) Sistema de controles de segurança
- 1 (um) Sistema de controles e instrumentos de operação.
- 5 (cinco) Visores cilíndricos, instalados em todas as linhas de transferência e linha de saída do condensado.
- 1 (um) Visor na linha de saída do "flash cooler".

O evaporador será completo, instalado em uma estrutura de suporte com escadas de acesso, plataforma e passarelas, totalmente pintadas.

Todos os pontos em contato com o suco serão de aço inoxidável AISI-304, com os vapores deste e da caldeira, de aço inoxidável AISI-304, com exceções normais dos visores, selos das bombas e rotor da bomba positiva. As bombas serão de aço inoxidável AISI-304 ou AISI-316.

As linhas de alimentação de água e vapor serão de ferro preto pintado.

Proposta Nº 562/83
Folha 03 de 05
Data: 23 de junho de 1983.
Cliente: Universidade Estadual de
Campinas.

GULMAC
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

EQUIPAMENTOS E COMPONENTES OPCIONAIS PARA OS
EVAPORADORES T.A.S.T.E.

1 (um) Sistema elétrico interligando todos os motores,
menos a bomba de alimentação e sistema de segurança,
completo, com todas as chaves e botoeiras de comando,
instalado ao evaporador.

1 (um) Recuperador de essências.

Preço total do evaporador, incluindo os
equipamentos opcionais, instalado, porém
excluindo-se frete e guindaste-----US\$ 248.463,00
+ IPI

NOTAS:

- 1) Isento de ICM, conforme legislação em vigor.
Se a lei mudar e este imposto se tornar devido, o mesmo
será acrescido na presente proposta.
- 2) O preço orçado será pago em cruzeiros à média do
valor do câmbio oficial de compra e venda do dólar
americano, no dia de cada pagamento.

Validade da proposta - 30 dias.

Proposta Nº 562/83

Folha 04 de 05

Data: 23 de junho de 1983.

Cliente: Universidade Estadual de
Campinas.

GULMAC
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

ESPECIFICAÇÕES E CONDIÇÕES DO EVAPORADOR T.A.S.T.E.
DE 2.250 KG/HORA, DE TRES EFEITOS E QUATRO ESTÁGIOS.

TIPO:

Evaporador de 3(tres) efeitos e 4(quatro) estágios, utilizando o princípio de "Névoa turbulente descendente", com pré-aquecedores em todos os efeitos e com "flash cooler".

CAPACIDADE:

2.250 kg/h de evaporação de água, de 10°Brix até 65°Brix, com um limite de viscosidade de 30.000 SSU, testada em instrumento de velocidade baixa. A capacidade é ajustável até 100% da nominal.

O evaporador é ajustável para corrigir variações de °Brix no suco alimentado, assim como variações no grau de concentração desejada.

VAPOR REQUERIDO:

1.406 kg/h. saturado, seco a uma pressão superior a 9 kg/cm² na base do evaporador. Esta representa o total requerido, incluindo o pré-aquecimento, ejetores de ar e o "flash cooler".

RELAÇÃO EVAPORADO/VAPOR:

1,6/1

ENERGIA ELÉTRICA:

40 HP, incluindo a bomba de alimentação, com uma demanda aproximada de 70%.

ÁGUA DE RESFRIAMENTO:

15 LPS, de 29°C até 43°C.

FLUXO DO PRODUTO:

Um passo, sem recirculação.

LAVAGEM:

Sem desmontar, "clean in place".

Proposta Nº 562/83

Folha 05 de 05

Data: 23 de junho de 1983

Cliente: Universidade Estadual de
Campinas.

GULMAC
INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.

GARANTIA:

O funcionamento adequado deste evaporador depende de ter áreas de troca de calor adequadas, assim como a devida remoção de ar e condensados. A Gulmac se reserva o direito de fazer as modificações que se fizerem necessárias, dentro de um período razoável de tempo, para atingir a capacidade garantida e o bom desempenho deste evaporador.

Todos os componentes fabricados pela Gulmac estão garantidos pelo período de 1 (um) ano da data de início de operação, contra defeitos na fabricação. Os materiais, equipamentos e componentes fabricados por terceiros, terão a garantia dos respectivos fabricantes.

Esta garantia não cobre danos causados por operação inadequada.

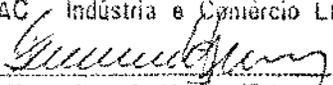
A Gulmac não assume responsabilidade por perdas de produção ou danos materiais e/ou pessoais.

CONDIÇÕES GERAIS:

O evaporador é orçado completo, instalado com todas as ligações de água, vapor, condensados, alimentação de suco, saída de concentrado e energia elétrica, colocados em diversos pontos, dentro da estrutura do evaporador. O cliente fará as ligações necessárias até esses pontos.

O cliente fornecerá as bases de suporte do evaporador e o acesso necessário ao transporte e instalação do evaporador.

GULMAC Indústria e Comércio Ltda.


Francisco Loffredo Neto
Diretor Industrial



Várzea Paulista, 15 de junho de 1984.

À

UNICAMP - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola
Caixa Postal 1170
13.100 - Campinas, SP

At. Profª. Míriam Dupas Hubinger

Ref. Nossa proposta nº 8676

Prezados Senhores,

Atendendo sua prezada consulta, oferecemos como segue:

. UMA PRENSA PARA EXTRAÇÃO DE ÁGUA " MECOMPRESS "

Modêlo DV, em aço inoxidável 316, com peneira em aço inoxidável, tipo AISI 304.

DADOS TÉCNICOS

. Material a prensar	:	Cebola picada
. Umidade inicial	:	92%
. Capacidade de alimentação	:	até 4 tons/h.
. Umidade final	:	± 85%
. Potência instalada	:	20 HP
. Regime de trabalho	:	Contínuo até 24 hs/dia.

Tipo horizontal, compressão helicoidal, constituída basicamente de:

./...



a. Uma caixa de alimentação com peneiras para drenagem de caldo " livre ", em aço inoxidável, tipo 316.

b. Uma rosca helicoidal com passo e diâmetro decrescentes, que se conecta ao acionamento por meio de acoplamento elástico.

Compressão: 1:7

c. Uma peneira cônica com passagem cônica que envolve a rosca da zona de prensagem.

Abertura: 0.8 Tela Johnson

d. Um cabeçote de descarga com dispositivos para estrangulamento da saída de material de modo a criar contra pressão para melhor desaguamento do produto.

e. Acionamento composto de motor de 20 HP, 4 polos, 60 hz, 380v, montado sobre o redutor, ao qual se acopla por meio de correias e polias. O redutor será compatível com a rotação e os esforços exigidos.

Rotação prevista: 12 RPM

Todos os componentes da prensa serão montados sobre base única executada em perfis de aço carbono comercial.

Desenhos e documentos

Encontra-se inclusos em nosso fornecimento, os seguintes desenhos:

./...



- . Desenhos de dimensões gerais.

Limites de Fornecimento

Encontram-se excluídos de nosso fornecimento, serviços complementares, tais como:

- . montagem no local;
- . transporte, embalagem e seguro;
- . fiações elétricas;
- . quadro elétrico de comando.

Funcionamento

Nosso técnico acompanha e coloca em funcionamento, ficando a cargo de V.Sas., somente as despesas de estadia de alojamento para o tempo necessário.

Garantia

Garantimos o equipamento contra qualquer defeito de fabricação durante 12 meses.

Garantimos também os resultados aqui oferecidos, desde que, a máquina seja posta em funcionamento e acompanhada por nosso técnico.

Preço

4.750 ORTN (isento de ICM, já excluído do preço)

./...



Impostos

I.P.I. = 5%

Condições de Pagamento

- . 1/3 de sinal
- . 1/3 contra entrega do equipamento em nossa fábrica
- . 1/3 30 dias após entrega

Reajuste

De acordo com ORTN, até efetivo pagamento.

Validade desta proposta

30 dias

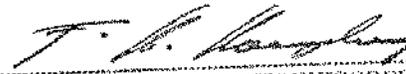
Prazo de entrega do equipamento

120 a 150 dias.

Estamos ao inteiro dispor, para quaisquer outros esclarecimentos.

Atenciosamente

MECÂNICA CONTINENTAL S/A Equipamentos Industriais.


FREDERICO HOENIG HOENIGSBERG
Diretor - Presidente